SIRIUS – МКС – ЛУНА – МАРС...

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА SIRIUS

XIX КОНФЕРЕНЦИЯ

ПО КОСМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ И АВИАКОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ

С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

7–9 октября 2025 г.

Москва

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
ПО КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ «РОСКОСМОС»
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ –
ИНСТИТУТ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ «ПАВЛОВСКИЙ ЦЕНТР»
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ РОССИИ «НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ»

ТЕЗИСЫ

XIX КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ И АВИАКОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

SIRIUS – МКС – ЛУНА – МАРС ...

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА SIRIUS

7–9 октября 2025 г.
Москва, Россия

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE
RUSSIAN FEDERATION
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
STATE SPACE CORPORATION «ROSCOSMOS»
INSTITUTE OF BIOMEDICAL PROBLEMS
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
WORLD-CLASS RESEARCH CENTER “PAVLOV CENTER”
NATIONAL PROJECT OF RUSSIA “SCIENCE AND UNIVERSITIES”

ABSTRACTS

XIX INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPACE BIOLOGY AND AEROSPACE MEDICINE

SIRIUS – ISS – MOON – MARS ...

SIRIUS PROJECT MAIN RESULTS

October 7–9, 2025
Moscow, Russia

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель
Баранов В.М.

Зам. председателя
Пономарёв С.А.

Члены комитета:

Бубеев Ю.А.
Бурляева Е.А.
Васильева Г.Ю.
Виноходова А.Г.
Дубинин В.И.
Ильин В.К.
Катунцев В.П.
Куссмауль А.Р.
Ларина И.М.
Маркин А.А.
Переведенцев О.В.
Поддубко С.В.
Попова Ю.А.
Соловей А.С.
Тарасенков Г.Г.
Фомина Е.В.
Швед Д.М.

PROGRAM COMMITTEE

Chair of the Program Committee
V. Baranov

Deputy Chairman
S. Ponomarev

Members:

Bubeev U.A., *IBMP RAS*, Russia
Burlyaeva E.A., *IBMP RAS*, Russia
Vasilyeva G.U., *IBMP RAS*, Russia
Vinokhodova A.G., *IBMP RAS*, Russia
Dubinin V.I., Russia
Ilyin V.K., *IBMP RAS*, Russia
Katuntsev V.P., *IBMP RAS*, Russia
Kussmaul A.R., IBMP RAS, Russia
Larina I.M., *IBMP RAS*, Russia
Markin A.A., *IBMP RAS*, Russia
Perevedentsev O.V., *IBMP RAS*, Russia
Poddubko S.V., *IBMP RAS*, Russia
Popova U.A., *IBMP RAS*, Russia
Solovey A.S., Russia
Tarasenkov G.G., Russia
Fomina E.V., *IBMP RAS*, Russia
Shved D.M., *IBMP RAS*, Russia

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель
Романов А.Н.
Зам. председателя
Белаковский М.С.
Зам. председателя
Федорко А.М.
Секретарь
Шишкина Т.Н.

Члены комитета:

Асейчев А.В.
Бойко А.Е.
Галанина Н.А.
Журавлева Т.В.
Зубов И.В.
Кабанов М.Г.
Каминская С.В.
Кантемирова Е.В.
Колотева М.И.
Левинских М.А.
Поляков М.В.
Рыбалов А.П.
Савин И.Ю.
Сокольская С.В.
Смирнова Т.А.
Сорокин О.Г.
Шумилина И.В.
Ярманова Е.Н.

ORGANIZING COMMITTEE

Chairman
A. Romanov
Deputy Chairman
M. Belakovskiy
Deputy Chairman
A. Fedorko
Secretary
T. Shishkina

Members:

A. Aseychev
A. Boyko
N. Galanina
T. Juravleva
I. Zubov
M. Kabanov
S. Kaminskaya
E. Kantemirova
M. Koloteva
M. Levinskikh
M. Polyakov
A. Rybalov
I. Savin
S. Sokolkaya
T. Smirnova
O. Sorokin
I. Shumilina
E. Yarmanova

Конгресс-оператор – ООО «МЕДИ Экспо»

IMPACT OF STRESS INDUCED BY 8-MONTH ISOLATION AND CONFINEMENT DURING THE SIRIUS-21 SPACE ANALOG MISSION ON EMG AND METABOLOMIC PROFILES

Adel B. Elmoselhi[1, 3], Catherine Taylor[2], Vishwajeet Shankhwar[5], Andrew Blaber[2], Zeinab Ibrahim[1, 3], Hamza M. Al-Hroub[3], Nelson C Soares[4, 5, 6, 7], Nandu Goswami[5]

[1]College of Medicine, University of Sharjah, Sharjah, United Arab Emirates
[2]Aerospace Physiology Laboratory, Simon Fraser University, Burnaby, Canada
[3]Research Institute of Medical & Health Sciences, University of Sharjah, Sharjah, United Arab Emirates
[4]Center for Applied and Translational Genomics (CATG) Mohammed Bin Rashid University of Medicine and Health Sciences (MBRU), Dubai Health, Dubai, United Arab Emirates
[5]College of Medicine, Mohammed Bin Rashid University of Medicine and Health Sciences (MBRU), Dubai, United Arab Emirates
[6]Laboratory of Proteomics, Department of Human Genetics, National Institute of Health Doutor Ricardo Jorge (INSA), Lisbon, Portugal
[7]Comprehensive Health Research Centre (CHRC), NOVA Medical School, University NOVA of Lisbon, Lisbon, Portugal

amoselhi@sharjah.ac.ae

Space travelers face several challenging stressors in the space environment, including microgravity, radiation, isolation and confinement (IC), disrupted circadian rhythms, and nutritional alterations. Despite advances in technology and extensive research efforts, the physiological effects of prolonged IC are still not clear.

Electromyography (EMG) recordings, as well as plasma and saliva samples, were collected before (once), during (three times), and after (once) the 8-month SIRIUS-21 space analog mission. EMG data were used to assess changes in muscle strength and fatigue over time. Metabolites from plasma and saliva were analyzed using LC-MS/MS, and statistical analyses were conducted.

Our results showed that IC led to a decline in EMG-measured muscle function in both upper and lower limb muscle groups, accompanied by a progressive increase in muscle fatigue over the isolation period. Metabolomic profiling revealed 45 significantly altered skeletal muscle-related metabolites ($p < 0.0001$ to 0.05): 8 were identified in both plasma and saliva, 26 exclusively in plasma, and 11 exclusively in saliva. Furthermore, functional analysis indicated that 21 of these metabolites and their associated pathways were significantly correlated with EMG changes.

Stress induced by prolonged IC results in a measurable decline in skeletal muscle function, with a concurrent increase in muscle fatigue over the IC period. Several metabolites in plasma and/or saliva were altered during this time and may serve as potential biomarkers for diagnostic or therapeutic purposes. More studies are needed to validate these findings and elucidate the underlying mechanisms.

LONG-TERM HUMAN SURVIVAL IN A CLOSED BIOREGENERATIVE LIFE SUPPORT SYSTEM: INSIGHTS FROM THE 370-DAY "LUNAR PALACE 365" MISSION

Liu H., Fu Y.M., Hao Z.K., Liu H.

School of Biological Science and Medical Engineering, Beihang University, Beijing, China

liuhui87@buaa.edu.cn

The "Lunar Palace 365" mission, conducted in the ground-based Lunar Palace 1 (LP1) facility, represents one of the longest and most integrated experiments in bioregenerative life support system (BLSS) research. This 370-day mission aimed to simulate a lunar base environment with high closure and crew rotation, involving eight volunteers divided into two groups. The system achieved 100 % regeneration of oxygen and water, 73 % food regeneration (dry weight), and 98.2 % overall material closure. Key subsystems included plant cultivation, waste processing, water recovery, and atmospheric management. The BLSS demonstrated remarkable stability under prolonged operation and crew shifts. Atmospheric O_2 and CO_2 levels were maintained within NASA-recommended ranges through biological regulation strategies involving soybean photoperiod adjustment and solid waste reactor activity. The system efficiently recovered 99.7 % of urine and 67 % of solid waste, with improved degradation rates over previous missions. Crew health and psychological states were closely monitored throughout the mission. No psychological distress was reported, attributed to the presence of plants, structured routines, and a high-fiber, plant-based diet. Multi-omics analyses revealed significant correlations between gut microbiota (e.g.,

Bacteroides uniformis, Faecalibacterium prausnitzii) and positive mood, suggesting a role of psychobiotics in mental health maintenance. Salivary microbiota and cytokine levels remained stable, indicating no persistent immune dysregulation. Energy consumption was monitored, and gender-based differences in metabolic and psychological responses were noted. The mission also included simulated emergencies (e.g., power failures, extended isolation), to which the system and crew adapted effectively. These results validate the feasibility of long-term BLSS operation for future lunar or Martian habitats. The integration of biological, psychological, and environmental monitoring provides a holistic model for future space life support systems and offers insights into human adaptation to isolated, confined environments.

National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 82001996, 32261133528, 82271921, 32471289, 81871520), Beijing Natural Science Foundation (7222112).

EXPLORING FACIAL EXPRESSION AND EEG SIGNALS RELATIONS UNDER MICROGRAVITY AND LONG ISOLATION CONDITIONS

Mishra Deepak, Singh Vivek Kumar

Indian Institute of Space Science and Technology Trivandrum, Trivandrum, India

deepak.mishra@iist.ac.in, vivek.isen@gmail.com

In human space flight missions, the physiological parameters of the astronauts changes due to factors like, microgravity, isolation, change in the circadian clock, increased G-force during takeoff, etc. Studies in literature show that isolation causes the increase in stress level. The microgravity condition causes fluid redistribution, which in turn results in increased blood flow toward the head in the human brain. This redistribution causes change in characteristics of electroencephalogram (EEG) signals. Additionally, the long term exposure to microgravity and isolation can lead to increase in stress levels which further lead to reduction in performance of the astronauts. Furthermore, EEG-based biomarkers have been studied in the literature for stress detection in normal conditions. In the studies from literature, the reduction in energy of EEG rhythms is observed under analog microgravity conditions. It becomes of interest to study the effect of microgravity on various EEG-based biomarkers related to stress, drowsiness, etc. A publicly available dataset, prepared by etal., is considered in this study which contains EEG signals from 31 channels. This dataset was created to study the long term effect of head down bed rest (HDBR) with or without countermeasures like exercise or antioxidant/anti-inflammatory supplementation. It consists of EEG signals recorded in three phases: 15 days of baseline (before HDBR), 60 days of -6 degree HDBR, and 15 days of recovery. The proposed study focuses on comparative analysis of EEG biomarkers during baseline, HDBR, and recovery phases. The EEG rhythms are extracted using signal decomposition-based approach from 31-channel EEG signals. Thereafter, stress and drowsiness-related biomarkers are computed from the extracted EEG rhythms. Then, the biomarkers computed from EEG signals related to the three EEG recording phases, i.e. baseline, HDBR, and recovery phases, are compared together. performed between baseline, HDBR, and recovery phases with and without countermeasures. It helps in achieving the understanding about the effect of HDBR on these biomarkers. Additionally, it assesses the effect of exercise- or antioxidant/anti-inflammatory supplementation-based countermeasures on these biomarkers. When the stress or drowsiness related biomarker is found to have significant strength, there might be the appearance of related facial expression features. Hence, the presented study will further be extended by considering the two modalities, i.e., brain signals and facial videos. The future study will be focused to understand how brain signals and facial expression are interrelated under adversary conditions like microgravity and isolation. As microgravity and isolation affect both expressive behavior and neural activity. Facial expressions become less intense and harder to interpret, while EEG shows stress, cognitive load, and altered sensorimotor integration. Together, they reflect embodiment challenges crucial for astronaut health and team performance.

IIST Research Grants.

EFFECTS OF 8-MONTH ISOLATION ON BODY COMPOSITION, PHYSICAL ACTIVITY, EATING BEHAVIOR, AND GLUCOSE METABOLISM: RESULTS FROM THE SIRIUS-21 EXPERIMENT

Platat C.[1], Parveen A.[1], Kazhakkayil J.[1], Alajlan S.[1], Alzaabi M.[1], Almaamari A.[1], Al-Maramah L.[1], Popova J.[2], Novikov V.[2], Savinkina A.[2], Vassilieva G.[2]

[1]Department of Nutrition and Health, College of Medicine and Health Sciences, United Arab Emirates University, PO BOX 15551, AL AIN, UAE
[2]Institute of Biomedical Problems, 76A Khoroshevskoye shosse 123007 Moscow Russia

platatcarine@uaeu.ac.ae

Background. During space missions, astronauts experience significant biological and metabolic changes that challenge their health, including a diabetes-like condition observed both in space and in Earth-based isolation studies. Although analog studies don't capture all spaceflight factors like microgravity and radiation, they offer valuable insights into how prolonged confinement affects physiology. Physical activity is a promising countermeasure to these effects, but its precise role in maintaining glucose homeostasis under isolated conditions is not yet fully understood. Top of Form.

Objective. To determine the impact of 8-months isolation ground-based study, simulating the conditions of long-term space mission, combined with regular exercise, on the body composition, dietary intake and appetite and blood glucose homeostasis in healthy adults.

Methodology. Six healthy adults (50% female) from diverse international backgrounds participated in the SIRIUS-21 study at the Institute of Biomedical Problems (IBMP) in Moscow, Russia. Conducted from November 2021 to July 2022, the 240-day (8-month) simulation involved a mission to the Moon, including lunar orbit and extravehicular activities. Participants lived in a ground-based facility, performing spaceflight-related tasks such as daily medical monitoring, health assessments, mission-specific activities, and regular physical training.

Body composition (weight, fat %, fat mass, lean mass %, BMD, BMC) was measured by DEXA before and after isolation. OGTTs were performed five times (baseline, days 50, 110, 222, and study end), with AUC calculated by the trapezoidal method. Blood glucose and HbA1c were measured pre- and post-isolation. Physical activity (PA) was tracked via GARMIN devices. Appetite was assessed using an 8-item, 10-point visual analog scale, and dietary intake (DI) was recorded through food diaries. PA, appetite, and diet were evaluated over about 10-day periods before, during, and after isolation.

Data analysis was performed using SPSS v.28. Normality was assessed using the Shapiro-Wilk test. Normally distributed variables are presented as mean±standard deviation (SD), while skewed variables are presented as median (Q1-Q3). Comparisons between time points were conducted using paired t-test, repeated measures ANOVA, and post-hoc Tukey tests for normally distributed data. For skewed data, the Friedman test and Dunn's multiple comparisons tests were employed as non-parametric alternatives. Statistical significance was set at 5%.

Results. The crew consisted of six members: three males and three females. One participant did not complete the final assessment and was therefore excluded from the analysis. The mean age of the participants was 34.20 ± 2.40 years, and their average height was 170.80 ± 2.26 cm. Due to the limited sample size, results are presented with data from males and females combined.

Body composition and physical activity (PA) were tracked at seven mission time points. Most measures—including fat mass, fat percentage, fat-free mass, muscle mass, and BMI—generally declined, except body weight, which increased mid-mission but returned near baseline by recovery. This group trend masked individual differences, with most crew losing weight. Fat percentage significantly decreased mid-mission onward, reflecting meaningful body composition changes beyond weight alone.

PA varied among individuals, with total and intense PA rising significantly by MD185 and recovery; moderate PA increased only during recovery when activity was less controlled.

Caloric intake declined gradually but not significantly, with macronutrients following suit. The diet remained high in fat, largely due to processed foods and limited fresh produce. Appetite markers (hunger, fullness, satisfaction, eating capacity) stayed mostly stable, with hunger slightly increasing and a mid-mission dip in eating capacity recovering later.

Desire for sweet, salty, savory, and fatty foods fluctuated moderately, with no strong cravings. Sweet cravings were lowest, while salty and savory were highest, mirroring the diet profile.

Blood glucose and HbA1c showed no significant changes, though HbA1c trended downward. OGTT results revealed improved glucose tolerance from MD53 through MD212, with lower 120-minute glucose levels at these points compared to baseline, returning to baseline during recovery.

Discussion. This study offers important insights into physiological and behavioral adaptations during prolonged isolation, relevant to Mars mission conditions. Unlike some previous studies, no significant loss of fat-free or muscle

mass occurred; instead, a slight reduction in body fat was observed, likely due to increased PA combined with reduced DI, leading to a negative energy balance. Higher levels of moderate and high-intensity PA were strongly associated with preserved lean mass and improved metabolic health, including better glucose homeostasis and reduced HbA1c.

Despite a fat-rich, processed diet, structured PA helped mitigate adverse metabolic effects. Appetite indicators fluctuated moderately without strong cravings, with higher PA periods linked to increased food desire, suggesting that physical activity may stimulate appetite even under isolation.

Conclusion. Structured PA is a crucial countermeasure for maintaining metabolic and musculoskeletal health during extended isolation. It supports glucose regulation, reduces fat mass, and preserves lean mass despite suboptimal DI. Appetite regulation reflects both physiological demand and psychological stress, highlighting the need for integrated, personalized exercise and nutrition strategies in space mission planning. Improving the nutritional quality and appeal of space foods is also essential to sustain astronauts' physical and mental well-being on long-duration missions.

This study was conducted with support from the Mohammed Bin Rashid Space Center, Dubai, UAE.

EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF HUMAN THERMOREGULATION UNDER TERRESTRIAL AND MICROGRAVITY CONDITIONS

Shine S.R., Chithramol M.K.

Indian Institute of Space Science and Technology, Thiruvananthapuram, India

shine@iist.ac.in

An in-house developed three-dimensional computational model of human thermoregulation (HTM) has been used to design an experimental study aimed at investigating various aspects of temperature homeostasis and thermoregulation in healthy individuals. The HTM is designed to simulate temperature variations across the entire body under diverse environmental settings. The three-dimensional model consists of two main components: a passive system and an active system. The passive system represents the anatomical structure of the human body and is segmented into 12 parts, namely the head, face, neck, thorax, abdomen, shoulders, upper arms, lower arms, hands, thighs, calves, and feet. The active system detects generates signals that initiate physiological responses such as shivering (Sh), sweating (Sw), vasoconstriction (Cs), and vasodilation (Dl) based on the error signal generated through core body and skin temperatures changes. The model has been validated with available experimental data from literature pertaining to diverse environmental conditions. Currently, temperature data for different body segments under varying environmental conditions and activity levels are collected from subjects of different body mass indices (BMI) and gender. Measurement sites are chosen according to the temperature patterns predicted by the HTM. The circadian rhythms of subjects are also being monitored using SteadyTemp, a wearable adhesive patch equipped with a high-precision temperature sensor, designed for continuous, non-invasive body temperature monitoring. The site for monitoring skin temperature variations during the circadian rhythm is determined by analyzing the changes across different body segments under different ambient conditions. Among the segments, the chest region is found to be the least influenced by environmental fluctuations. The study is repeated with different core temperature settings and observed a stronger correlation with core temperature. Based on this suitable outcome chest is identified as the most site for tracking temperature changes associated with circadian rhythm. Efforts have been made to incorporate microgravity effects into the HTM. Microgravity-induced changes such as blood redistribution, reduced blood volume, metabolic alterations, loss of bone and muscle mass, and impaired thermoregulatory mechanisms have been modeled and analyzed. Each effect is modeled separately and then integrated into the HTM to generate the effects of microgravity on thermoregulation. As metabolism decreases, the temperature difference between the core and the skin across various body segments also decreases. However, this reduction is more pronounced in the head, face, neck, and chest segments. An increase in metabolism results in a rise in body temperature, which triggers enhanced sweating and vasodilation to help reduce the temperature of vital organs. However the less temperature-regulated distant organs show a greater increase between core and skin temperature. Face shows the highest difference between core and skin temperature. Similarly, all observed microgravity effects are incorporated into the HTM. The predictions show close agreement with experimental data obtained from cosmonauts and astronauts aboard the Mir space station and the ISS, highlighting the usefulness of the HTM in generating realistic predictions of body temperature during long-duration space missions. The presentation at the conference will highlight salient results from the experimental study, the details of the HTM, and the observations from the model while incorporating the microgravity effects.

КОГНИТИВНАЯ ЭРГОНОМИКА ДЛЯ СЛОЖНЫХ ДАННЫХ (СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ, БИОМЕДИЦИНСКИЕ И АВИАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ) В ЛАБОРАТОРИЯХ/КАБИНАХ НОСИМЫХ УСТРОЙСТВ И ЭКОСИСТЕМАХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ ОРБИТАЛЬНЫХ И НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ НА ЛУНЕ/МАРСЕ И ДЛЯ МИССИЙ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ДАЛЬНЕГО КОСМОСА

Toscano R., Toscano A.

Academia scientiarum, Roma, Italy

robertotoscanot3@gmail.com, atoscano.phd@gmail.com

Теоретические модели и гипотезы экосистем Интернета вещей и носимых вычислительных технологий и устройств (биомедицинские и авиационные параметры, контроль окружающей среды и системы жизнеобеспечения, мониторинг питания и т. д.) для аэрокосмической отрасли с целью оптимизации когнитивных характеристик (визуализация и мониторинг биомедицинских и экологических параметров, когнитивных характеристик и аудиовизуального восприятия в экстремальных условиях, тактильная и сложная виброакустическая обратная связь при выходе в открытый космос и т. д.) для систем управления и контроля, а также нейтрализации искажающих явлений в функциях внимания, мотивации/воли и принятия решений в условиях длительного заключения, миссий по исследованию дальнего космоса и орбитальных и наземных форпостов следующего поколения на Луне и Марсе.

COGNITIVE ERGONOMICS FOR COMPLEX DATA (LIFE SUPPORT SYSTEMS, BIOMEDICAL AND AVIONICS PARAMETERS) IN WEARABLES LAB/COCKPITS & IOT ECOSYSTEMS FOR NEXT MOON/ MARTIAN ORBITAL & SURFACE OUTPOSTS AND DEEP-SPACE EXPLORATION MISSIONS

Roberto Toscano R., Toscano A.

Academia scientiarum, Roma, Italy

robertotoscanot3@gmail.com, atoscano.phd@gmail.com

Theoretical models and hypothesis of IoT ecosystems and wearable computing technologies and devices (biomedical and avionics parameters, environment control and Life Support System, Nutrition Monitoring etc.) for aerospace, with the aim of optimizing cognitive performances (visualization and monitoring of biomedical and environmental parameters, cognitive performance and audiovisual perception in extreme distress conditions, haptic and complex vibroacoustic feedback in EVA extra-vehicular activity etc.) for guide and control systems, and neutralization of distortive phenomena in functions of attention, motivation/volition and decision making in long-stay confinement, deep-space exploration missions and next generation orbital and surface outposts on Moon and Mars.

ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ Н-РЕФЛЕКСА МЫШЦ ГОЛЕНИ В ХОДЕ 21-СУТОЧНОЙ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦЕНТРИФУГИ КОРОТКОГО РАДИУСА

Абу Шели Нэлли Мухамед Ашур, Шигуева Т.А., Китов В.В., Пучкова А.А., Шпаков А.В., Сальников А.В., Колотева М.И., Томиловская Е.С.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

nellyabushelly@yandex.ru

Цель работы составило исследование рефлекторной активности спинальных мотонейронов в условиях 21-суточной антиортостатической гипокинезии (АНОГ) с использованием дозированной гравитационной терапии на центрифуге короткого радиуса вращения (ЦКР). Анализировали пороги и максимальные амплитуды кривых вовлечения Н-рефлекса в mm. soleus и gastrocnemius lat. до, на 5-е, 7-е, 15-е, 18-е, 21-е сутки АНОГ и на 2-е, 5-е сутки после завершения 21-суточной АНОГ.

Вращение на ЦКР проводилось пять раз: на 8-е, 11-е, 14-е, 17-е и 20-е сутки гипокинезии.

Достоверные изменения основных параметров Н-рефлекса по сравнению с фоновыми значениями наблюдались, в основном, на пятые сутки АНОГ, до начала цикла вращений на ЦКР.

Пороги Н-рефлекса m. soleus достоверно снижались на пятые и седьмые сутки АНОГ *(p = 0,0348 и p = 0,0176*, соответственно). В *m. gastrocnemius lat*. не было зафиксировано достоверных изменений данного параметра.

Максимальная амплитуда Н-рефлекса (мВ) в *m. soleus* достоверно увеличивалась на 5-е сутки с 9,5 ± 3,9 мВ до 18,0 ± 9,9 мВ по сравнению с фоновыми значениями *(p = 0,0391)*. Значение данного параметра также достоверно отличалось на 5-е сутки АНОГ по сравнению с периодом последействия на 2-е и 5-е сутки после окончания воздействия гипокинезии (p = 0,0340 и p = 0,0175, соответственно). В *m. gastrocnemius lat*. также отмечалось достоверное увеличение параметра только на пятые сутки АНОГ *(p = 0,0130)*.

Максимальная амплитуда М-ответа (мВ) в *m. soleus* не показывала каких-либо однонаправленных изменений относительно фоновых значений. В *m. gastrocnemius lat.* отмечалось достоверное увеличение данного параметра на 5-е и 7-е сутки АНОГ относительно периода последействия *(p < 0,0001* и *p < 0,0001)*.

Соотношение максимальных амплитуд H/M в mm. soleus и gastrocnemius lat. в ходе гипокинезии достоверно не изменялось.

Латентность Н-рефлекса и *М-ответа* в mm. soleus и gastrocnemius lat. оставалась неизменной, начиная с фоновых обследований и на протяжении всего воздействия гипокинезии.

Таким образом, в данном исследовании было отмечено снижение порогов рефлекторных ответов и увеличение их максимальной амплитуды к 5-м суткам АНОГ, что может указывать на признаки гиперсензитивности спинальных рефлекторных систем в условиях гипогравитации. Применение профилактических вращений на ЦКР позволило предотвратить изменения указанных параметров, что может быть ассоциировано с активацией работы тонической мышечной системы нижних конечностей при стимуляции опорных рецепторов стоп, поскольку ЦКР создает ускорение в направлении «голова – таз», что обеспечивает усиление опорной афферентации.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН (№ FMFR-2024-0033 и FMFR-2024-0037).

DYNAMICS OF H-REFLEX PARAMETERS OF SHIN MUSCLES DURING 21-DAY BEDREST WITH USING SHORT-RADIUS CENTRIFUGATION

Abu Sheli Nelly Mukhamed Ashur, Shigueva T.A., Kitov V.V., Puchkova A.A., Shpakov A.V., Koloteva M.I., Salnikov A.V., Tomilovskaya E.S.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

nellyabushelly@yandex.ru

The aim of the work was to study the reflex activity of spinal motor neurons under conditions of 21-day bed rest (BR) with a short-radius centrifuge (SRC). We analyzed the thresholds and peak amplitudes of the H-reflex recruitment curves in mm. soleus and gastrocnemius lat. before, on the 5th, 7th, 15th, 18th, 21st day of BR and on the 2nd, 5th day after completion of 21-day BR.

Rotation on the SRC was performed five times during 21-day BR on the 8th, 11th, 14th, 17th and 20th day of hypokinesia. Significant changes in some parameters compared to background values were observed mainly on the fifth day of BR, before the start of rotation cycles on the SRC.

The thresholds of the H-reflex of m. soleus significantly decreased on the fifth and seventh days of BR (p = 0.0348 and p = 0.0176, respectively). In m. gastrocnemius lat. no significant changes in this parameter were recorded.

The peak amplitude of the H-reflex (mV) in m. soleus significantly increased on the fifth day from 9.5 ± 3.9 mV to 18.0 ± 9.9 mV compared to background values (p = 0.0391). The value of this parameter also significantly differed on the fifth day of BR compared to the aftereffect period on the second and fifth days after the end of hypokinesia (p = 0.0340 and p = 0.0175, respectively). In m. gastrocnemius lat. also noted a reliable increase of the parameter only on the fifth day of BR (p = 0.0130).

The peak amplitude of the M-response (mV) in m. soleus did not show any unidirectional changes relative to the background values. In m. gastrocnemius lat. there was a reliable increase of this parameter on the fifth and seventh days of BR relative to the aftereffect period (p < 0.0001 and p < 0.0001).

The ratio of the peak amplitudes of *H/M* relative to the background values did not change significantly in mm. soleus and gastrocnemius lat. in the course of BR.

The latency of the H-reflex and M-response in mm. soleus and gastrocnemius lat. remained unchanged, starting from the background examinations and throughout the entire effect of hypokinesia. Thus, in this study, a decrease in the thresholds of reflex responses and an increase in their peak amplitude by the fifth day of BR were noted, which may indicate signs of hypersensitivity of spinal reflex systems under hypogravity conditions. The use of countermeasure rotations on the SRC prevented changes in the mentioned parameters, which may be associated with the activation of the tonic muscle system in the lower limbs due to stimulation of the foot support receptors, since the SRC creates acceleration in the "head-to-pelvis" direction, thereby enhancing support afferent signals.

The study is supported by the Program of fundamental research of IBMP RAS (FMFR-2024-0033, FMFR-2024-0037).

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ПРОГРАММИРУЕМОЙ КЛЕТОЧНОЙ ГИБЕЛИ

Ананьева Ю.Е., Нагиба В.И., Варганова И.А., Паточка Г.Л.

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ экспериментальной физики, Саров, Россия

anyue@mail.ru

К настоящему времени доказано, что в ответ на действие различных по природе факторов в организме развиваются однотипные стандартные неспецифические реакции. Воздействие физических факторов электромагнитной природы, в частности, электромагнитного излучения (ЭМИ) и импульсного магнитного поля (ИМП) вызывает развитие реакций, проявляющихся на всех уровнях организации – от целостного организма до органов, тканей, клеток, мембран и молекул. Одним из активных процессов, формой реакции клетки на внешние и внутренние сигналы является апоптоз. В качестве объекта исследования выступали белые беспородные крысы самцы в количестве 32 особей. Воздействие осуществляли в течение 20 минут ЭМИ частотой ~2,45ГГц. В качестве источника ИМП использовали лабораторный магнитогенератор с максимальным значением модуля магнитной индукции в центре рабочей зоны индуктора до 4,0±0,2 мТл, с частотой ~100 Гц.

Показано, что электромагнитное излучение вызывало увеличение уровня апоптоза на 35 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с контрольным уровнем. ИМП при моно воздействии не оказывало влияния на программируемую клеточную гибель. Применение низкочастотного магнитного поля в качестве протектора вызывало уменьшение количества погибших клеток на 33 % ($p \leq 0,001$) относительно группы животных, которые подвергались воздействию электромагнитного излучения с заданными параметрами.

Способность низкочастотного магнитного поля в исследуемом режиме сдерживать развитие негативного биологического эффекта электромагнитного излучения делает целесообразным его дальнейшее применение в клинической медицине с целью профилактики и терапии заболеваний различного генеза.

Инициативная работа из прибыли института.

STUDY OF THE MODIFYING EFFECT OF LOW-FREQUENCY MAGNETIC FIELD ON THE PROCESS OF PROGRAMMED CELL DEATH

Ananyeva Yu.E., Nagiba V.I., Varganova I.A., Patochka G.L.

Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics, Sarov, Russia

anyue@mail.ru, memf@bfrc.vniief.ru

It has been proven that in response to various nature factors, the body develops standardized nonspecific reactions. The influence of physical factors of electromagnetic nature, in particular, electromagnetic radiation (EMR) and pulsed magnetic fields (PMF), triggers reactions that manifest at all levels of organization – from the whole organism to organs, tissues, cells, membranes, and molecules. One of the active processes, a form of the reaction of the cell to external and internal signals, is apoptosis. The objects of the study were 32 white mongrel male rats. The exposure to EMR lasted for 20 minutes with a frequency of approximately 2.45 GHz. A laboratory magneto-generator was used as the source of PMF, with a maximum magnetic induction value in the center of the working zone of the inductor up to 4.0 ± 0.2 mTl, at a frequency of approximately 100 Hz.

It was shown that electromagnetic radiation caused an increase in the level of apoptosis by 35 % ($p \leq 0.05$) compared to the control level. PMF, when applied alone, did not influence the programmed cell death. The application of low-frequency magnetic field as a protector resulted in a 33 % reduction in the number of dead cells ($p \leq 0.001$) compared to the group of animals exposed to electromagnetic radiation with the specified parameters.

The ability of the low-frequency magnetic field in the studied mode to suppress the development of the negative biological effect of electromagnetic radiation makes it advisable for its further application in clinical medicine for the prevention and therapy of diseases of various origins.

Initiative work from the institute.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО НИЗКОЧАСТОТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ИЗМЕНЕННОГО СОСТОЯНИЯ У КРЫС

Ананьева Ю.Е.[1], Захарова О.А.[1], Краюхина К.Ю.[1], Моисеева О.В.[1], Федотов В.Д.[2], Баркин В.В.[1]

[1]Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров, Россия
[2]Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава России, Нижний Новгород, Россия

anyue@mail.ru

Психонейроэндокринные расстройства являются серьезной проблемой современного общества. Наряду с фармакотерапией и психотерапией существуют перспективные физические способы коррекции нарушений подобного генеза, в частности, общая магнитотерапия. Хотя первичные механизмы воздействия магнитного поля остаются недостаточно изученными, импульсное магнитное поле (ИМП), обладая комплексным воздействием на нервную систему, кроме непосредственного стимулирования отделов головного мозга, ответственных за этиопатогенез депрессий, позволяет одновременно воздействовать на вегетативную нервную систему (ВНС), изменяя активность ее отделов. Моделирование депрессивно-подобного состояния осуществлялось путем содержания животных в клетках по одному на протяжении 8 недель при естественном освещении, свободном доступе к пище и воде. Контролем служили животные, помещенные группой по 4 особи в одну клетку. С девятой недели исследования применяли медикаментозный (амитриптилин в дозе 25 мг/кг) и немедикаментозный (ИМП с частотой 100 Гц и величиной магнитной индукции до 4 мТл) способы коррекции измененного состояния. Состояние ВНС исследовали путем анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР), оцениваемого по индексу напряжения (ИН). Получено, что социальная изоляция приводила к децентрализации процессов регуляции сердечного ритма с преобладанием парасимпатического тонуса ВНС. Установлено, что двухнедельное воздействие трициклического антидепрессанта и ИМП вызывало увеличение напряжения регуляторных систем, обусловленное ростом активности симпатического отдела ВНС. Можно заключить, что механизм ответной реакции организма крыс на 14-дневное воздействие ИМП схож с ответной реакцией организма на действие амитриптилина. Данный вывод позволяет говорить о возможности использования импульсного магнитного поля для коррекции нарушенных функций организма.

Инициативная работа из прибыли института.

STUDY OF THE POSSIBILITY OF PULSED LOW-FREQUENCY MAGNETIC FIELD APPLICATION FOR CORRECTION OF ALTERED STATE IN RATS

Ananyeva Yu.E.[1], Zakharova O.A.[1], Krayukhina K.Yu.[1], Moiseeva O.V.[1], Fedotov V.D.[2], Barkin V.V.[1]

[1]Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics, Sarov, Russia
[2]Volga Research Medical University of the Ministry of Health Care of Russia, Nizhniy Novgorod, Russia

anyue@mail.ru

Psychoneuroendocrine disorders are a serious problem in modern society. Alongside pharmacotherapy and psychotherapy, there are promising physical methods for correcting these disorders, particularly general

magnetotherapy. Although the primary mechanisms of the magnetic field effects remain insufficiently studied, the pulsed magnetic field (PMF), with its complex impact on the nervous system, not only directly stimulates the brain regions responsible for the etiopathogenesis of depression but also simultaneously affects the autonomic nervous system (ANS), altering the activity of its divisions.

The modeling of a depression-like state was carried out by housing animals individually in cages for 8 weeks under natural lighting, with free access to food and water. The control group consisted of animals housed in groups of four in one cage. From the ninth week of the study, both pharmacological (amitriptyline at a dose of 25 mg/kg) and non-pharmacological (PMF with a frequency of 100 Hz and a magnetic induction of up to 4 mTl) methods were applied to correct the altered state. The condition of the ANS was investigated by analyzing heart rate variability (HRV), assessed by the tension index (TI).

It was found that social isolation led to a decentralization of heart rate regulation processes, with a predominance of parasympathetic tone in the ANS. It was established that a two-week exposure to the tricyclic antidepressant and PMF caused an increase in the tension of regulatory systems, attributed to the rise in sympathetic activity in HRV. It can be concluded that the mechanism of the rats' response to 14 days of PMF exposure is similar to the response of the organism to the action of amitriptyline. This conclusion suggests the potential use of pulsed magnetic fields for correction of impaired body functions.

Initiative work from the institute.

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РЕЗИСТЕНТНОСТЬ МЕМБРАН ЭРИТРОЦИТОВ

Ананьева Ю.Е.[1], Иванова И.П.[2], Захарова О.А.[1], Баркин В.В.[1]

[1]Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно- исследовательский институт экспериментальной физики, Саров, Россия

[2]Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

anyue@mail.ru

Клеточная мембрана играет ключевую роль в формировании ответа организма на магнитное поле. Развитие той или иной реакции определяется набором биотропных параметров магнитного поля и индивидуальной восприимчивостью к нему. Настоящая работа посвящена изучению влияния импульсного магнитного поля (ИМП) на резистентность эритроцитарных клеток. Эритроциты используются в качестве моделей для изучения свойств различных биологических мембран, поскольку они содержат только плазматические мембраны и не содержат клеточных органелл. В качестве источника воздействия использовался генератор, формирующий ИМП частотой 100 Гц с величиной магнитной индукции до 4 мТл. Воздействие полем осуществлялось in vitro при разных величинах напряжения (100, 200, 300, 400 В) однократно в течение 5, 10 и 30 минут. Оценку резистентности клеток проводили сразу, а также через час после воздействия ИМП.

Получено, что 5-минутное воздействие ИМП не оказывало влияния на резистентность клеток. Обращает на себя внимание, что при увеличении напряжения наблюдается статистически значимый мембранотоксический эффект непосредственно после окончания воздействия ($p \leq 0,05$). Наиболее выражен наблюдаемый эффект через час после воздействия ИМП ($p \leq 0,001$).

Таким образом, получен дозозависимый эффект, который необходимо учитывать для проведения дальнейших исследований in vivo. Подобные модельные эксперименты кроме фундаментального научного представляют интерес для практической медицины, поскольку позволят во многом уточнить механизм действия магнитотерапии.

Инициативная работа из прибыли института.

INFLUENCE OF PULSED MAGNETIC FIELD ON THE VIABILITY OF ERYTHROCYTES MEMBRANES

Ananyeva Yu.E.[1], Ivanova I.P.[2], Zakharova O.A.[1], Barkin V.V.[1]

[1]Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics, Sarov, Russia
[2]Nizhny Novgorod State University of N.I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod

anyue@mail.ru

The cell membrane plays a key role in forming the body response to a magnetic field. The development of a particular reaction is determined by a set of biotropic parameters of the magnetic field and individual susceptibility to it. This work is dedicated to studying the influence of pulsed magnetic field (PMF) on the viability of erythrocyte cells. Erythrocytes are used as models for studying the properties of various biological membranes because they contain only plasma membranes and lack cellular organelles. A magneto-generator was used as a source of influence, forming 100 Hz PMF with a magnetic induction of up to 4 mTl. The exposure to the field was conducted in vitro at different voltage levels (100, 200, 300, 400 V) for 5, 10, and 30 minutes. The assessment of cell viability was performed immediately after exposure and also 1 hour later.

It was found that a 5-minute exposure to PMF did not affect cell viability. Notably, an increase in voltage resulted in a statistically significant membrane-toxic effect immediately after exposure ($p \leq 0.05$). The most pronounced effect was observed one hour after PMF exposure ($p \leq 0.001$). Thus, a dose-dependent effect was obtained, which must be considered for further in vivo studies. In addition to fundamental scientific interest, such model experiments are of interest for practical medicine, as they will help clarify the mechanisms of magnetotherapy effect.

Initiative work from the institute.

ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЗДОРОВЬЯ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ SMARD-WATCH

Бальцер Г.-У.

Хрономар ГмбХ, Берлин, Германия

ullrich.balzer@chronomar.com

Безопасность, здоровье и работоспособность членов экипажа играют решающую роль в успехе космических полетов и в экстремальных ситуациях. Высокая и иногда длительная рабочая нагрузка приводит к ошибкам на работе вследствие стрессовой нагрузки, а в случаях длительного стресса может привести к бёрнаут.

Однако фазы повышенной и пониженной активности также наблюдается в течение обычного дня. Они характеризуются базовым циклом активности покоя (BRAC). Этот цикл состоит примерно из 1,5 часов активации наших жизненных процессов, таких как концентрация и внимание, за которыми следует фаза деактивации продолжительностью примерно 20–30 минут (отсутствие концентрации, снижение внимания, большее каличество ошибок при работе).

Сон, в том числе мини-сон, служит для регенерации и восстановления здоровья и работоспособности. Система smard-watch (система мониторинга и анализа с использованием регуляторной диагностики) была разработана в конце 1990-х годов.Дальнейшее развитие этой системы в настоящее время позволяет проводить измерение физиологических параметров (мышечной активности – ЭМГ, вегетативно-эмоциональной реакции – параметра сопротивления кожи (СК), вегетативно-нервной реакции, параметра потенциала кожи (ПК), метаболической реакции, параметра температуры кожи (ТК) и поведенческих параметров 3D-ускорения и 3D-вращения) с частотой дискретизации 10/сек для каждого параметра в течение периода регистрации 60 часов. Устройство крепится к запястью или к ступне ноги. Анализ данных позволяет отдельно измерять BRAC для нервного (когнитивного), эмоционального и мышечного) стресса. Можно определить начало, конец, продолжительность и частоту фаз высокой или пониженной производительности. Кроме того, можно определить время возникновения, продолжительность и частоту перегрузочных торможений и блзкаут. Клинические исследования продемонстрировали депрессивные, невротические, трансовые и гипнотические состояния. В исследовании на 12 человек в лаборатории сна были продемонстрированы процессы релаксации во время фазы засыпания с 91% достоверности для параметров (ЭМГ, КС и КП).

В пилотном исследовании в реальных рабочих условиях был определен вегетативный стресс различных видов деятельности при производстве механических деталей. Взаимодействие (эмоциональное и нервное) между двумя людьми можно было определить в реальных условиях (ученик-учитель) во время урока. В терапевтических условиях можно было измерить вегетативную синхронизацию поведения группы, включая терапевта. Разработан новый многопараметрический метод (маятник здоровья) для улучшения здоровья и производительности. Он позволяет применять меры повышения производительности (например, мини-сон) индивидуально и в зависимости от реальных условий. В ходе трехнедельной высокогорной экспедиции (пик Лейпциг, памирб 5725м) у одного из участников экспедиции было выявлено бёрнаута с помощью анализа вегетатвной синхронизации.

Система smard-watch в настоящее время находится на этапе выпуска на рынок и будет постепенно преобразована в онлайн-диагностику (включая биологическую обратную связь). Также планируется расширение для включения сердечно-сосудистых и биохимических параметров.

Несколько.

OPPORTUNITIES TO IMPROVE THE PERFORMANCE AND HEALTH OF CREW MEMBERS USING THE SMARD-WATCH SYSTEM

Balzer H.-U.

Chronomar GmbH, Berlin, Germany

ullrich.balzer@chronomar.com

Sleep, including power-nap, serves to regenerate and restore health and performance. The smard-watch system (a system for Monitoring and Analysis using Regulatory Diagnostics) was developed in the late 1990s. However, phases of increased and decreased activity have also been observed during the normal course of the day. These are characterized by the Basis Rest Activity Cycle (BRAC). This cycle consists of approximately 1.5 hours of activation of our life processes, such as concentration and attention, followed by a deactivation phase of approximately 20 to 30 minutes (lack of concentration, reduced attention, higher error rate at work). Sleep, including power-nap, serves to regenerate and restore health and performance. The smard-watch system (a system for Monitoring and Analysis using Regulatory Diagnostics) was developed in the late 1990s. The further development of this system currently allows the measurement of physiological parameters (muscle activity - EMG, the vegetative-emotional reaction - parameter skin resistance (SR), the vegetative-nervous reaction, parameter skin potential (SP), the metabolic reaction, parameter skin temperature (ST) and the behavioral parameters 3D-acceleration and 3D-rotation) with a sampling rate of 10/sec for each parameter over a recording period up to 60 hours. The device can be fixed to the wrist or ankle. Data analysis allows to measure the BRAC separately for nervous (cognitive), emotional, and muscular) load. The begin, end, duration, and frequency of phases of high or reduced performance can be determined. In addition, the time of occurrence, duration, and frequency of overload inhibitions and blackouts can be determined. Clinical studies have demonstrated depressive, neurotic, and trance- and hypnotic states. In a pilot study of 12 individuals in the sleep laboratory, the relaxation processes during the sleep onset phase were demonstrated with 91% reliability for the parameters (EMG, SP, and SR). In a pilot study under real-life working conditions, the vegetative work load of various work activities in the production of mechanical parts was determined. The interaction (emotional and nervous) between two people could be determined under real-life conditions (student-teacher) during a lesson. Under therapeutic conditions, the vegetative synchronization of the behavior of a group, including the therapist, could be measured. A new multiparametric method (the health pendulum) was developed for use in improving health and performance. It allows the application of performance-enhancing action (e.g., power nap) individually and depending on real-life conditions. During the course of a three-week high-altitude expedition (pik Leipzig 5725m, Pamir), burnout was detected in one expedition member through the analysis of vegetative synchronization. The smard-watch system is currently in the market launch phase and will gradually be converted to online diagnostics (including biofeedback). Expansion to include cardiovascular and biochemical parameters is also planned.

Several.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИМУЛЯТОРОВ ЛУННОЙ И МАРСИАНСКОЙ ПЫЛИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Баринов В.А., Золотоверхая Е.А.

Научно-клинический центр токсикологии им. академика С.Н. Голикова Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия

vladbar.57@yandex.ru

Аннотация. Проведен анализ зарубежных и отечественных данных о разработанных, производившихся ранее и производящихся в настоящее время симуляторах лунного грунта, марсианского грунта, лунной пыли. Показано, что симуляторы лунной и марсианской пыли, подходящие для токсикологических и других медико-биологических исследований, следует отнести к категории «специальные» (Specialty). Выбраны параметры, важные для моделирования легочной и других видов токсичности симуляторов лунной и марсианской пыли в экспериментах in vitro и на лабораторных животных. При создании отечественных симуляторов лунной и марсианской пыли, предназначенных для проведения медико-биологических исследований, следует предусматривать возможность их разделения не менее чем на две фракции по размерам и гранулометрическому составу, в зависимости от задач токсикологического эксперимента.

Ключевые слова: лунная пыль, марсианская пыль, токсичность, симуляторы лунной и марсианской пыли.

Введение. В связи с планами по исследованию и освоению человеком в XXI веке Луны и Марса, большое внимание уделяется обеспечению безопасности участников экспедиций при их контактах с лунной пылью (ЛП) и марсианской пылью (МП). Благодаря уникальному опыту программы «Apollo», достаточно хорошо известны ближайшие эффекты относительно кратковременных контактов человека с ЛП. В условиях будущего освоения человеком Луны и Марса многократные и продолжительные контакты с ЛП и МП повысят медицинские риски развития отставленных и отдаленных последствий действия пыли на легкие, другие органы и системы организма. ЛП и МП могут быть весьма опасны для здоровья человека вследствие своего химического и минералогического состава, а также уникальных физико-химических свойств, которые определяются специфическими условиями образования пыли на поверхности Луны и Марса. Для токсикологических исследований в земных условиях используются специальные симуляторы лунной и марсианской пыли (СЛМП), которые получают из подходящих симуляторов лунного грунта (СЛГ) или симуляторов марсианского грунта (СМГ), подвергая их измельчению, химической модификации и активации. Оригинальные образцы ЛП, доставленные на Землю в рамках лунных миссий программы «Apollo», использовались по разрешению NASA только в особенно важных экспериментах, таких как установление пороговых и безопасных уровней воздействия при ингаляционных экспериментах на лабораторных животных, исследование глазной токсичности и иммунотоксического действия.

Цель исследования. На основе обобщения и анализа научной литературы, баз данных основных разработчиков обосновать рекомендации по созданию отечественных СЛМП, пригодных для проведения экспериментальных медико-биологических исследований, и их экспериментальному изучению.

Методология и результаты исследования. Методология исследований состояла в анализе научной литературы, зарубежных баз данных (Colorado School of Mines, США; Exolith Lab, США и др.) и сайтов, содержащих сведения о СЛГ, СМГ, СЛМП, и проведенных с их использованием медико-биологических исследованиях. В этих источниках имеется информация о более чем 40 СЛГ, созданных с целью воспроизведения в земных условиях имитаторов различных образцов лунного реголита, доставленного на Землю автоматическими станциями и пилотируемыми миссиями программы «Apollo». На основе СЛГ создано порядка 6 симуляторов лунной пыли (СЛП). Некоторые из них имитируют ЛП морских (LMS-1D, США), материковых (LHS-1D, США) районов или носят универсальный характер (CLDS-i, КНР). Поскольку образцы марсианского грунта на Землю не доставлялись, СМГ созданы на основе дистанционно полученных данных, в основном с марсоходов «Curiosity» и «Perseverance». Анализ данных научной литературы свидетельствует, что разработанные в лаборатории геохимии Луны и планет ГЕОХИ РАН отечественные СЛГ (VI-75, VI-LH1) и СМГ (VI-M1), обеспечивающие решение задач крупномасштабных геотехнических экспериментов, испытаний космической техники и научной космической аппаратуры, по своему химическому и минералогическому составу не подходят для создания СЛМП, пригодных для проведения медико-биологических исследований в экспериментах in vitro и на лабораторных животных. Это определяет необходимость разработки отечественных СЛМП.

Анализ данных о минеральном, химическом, гранулометрическом и структурно-морфологическом составе СЛГ, СМГ, СЛП позволил сформулировать требования к СЛМП, позволяющим проводить экспериментальные медико-биологические исследования. Эти требования представлены в докладе. По качеству,

определяющему предназначение, СЛМП, подходящие для токсикологических и других медико-биологических исследований, следует отнести к категории «специальные» (Specialty). При создании отечественных СЛМП, предназначенных для проведения медико-биологических исследований, следует предусматривать возможность их разделения не менее чем на две фракции по размерам и гранулометрическому составу, в зависимости от задач токсикологических экспериментов. Для ингаляционного пути введения требуются сверхтонкая и ультрадисперсная фракции (средний размер частиц 100 - 300 нм). Для экспериментов на культурах клеток, а также при оценке глазной токсичности, дерматотоксичности, включая действие на поврежденную кожу, могут быть использованы более «грубые» фракции СЛМП.

Большое значение имеет выбор и разработка методик проведения экспериментальных исследований по оценке легочной токсичности, иммунотоксичности, кардиотоксичности, нейротоксичности, потенциальной канцерогенности. В докладе представлены рекомендации по методологии проведения токсикологических экспериментов с использованием СЛМП in vitro и на лабораторных животных. Показано, что при создании отечественных СЛП для медико-биологических исследований следует предусмотреть имплантацию нанофазного металлического железа, позволяющего изучать роль химической активации СЛП в решении частных задач по обеспечению токсикологической безопасности. Для биокинетических исследований на животных, разработки способов биоиндикации и ускоренной элиминации ингалированных частиц лунной и марсианской пыли целесообразно создание специальных симуляторов с флуоресцентными метками.

Выводы. 1. Определены рекомендации по разработке отечественных симуляторов лунной и марсианской пыли, пригодных для проведения экспериментальных медико-биологических исследований. 2. Определены направления экспериментальной оценки основных видов неблагоприятных биологических эффектов (легочной токсичности, кардиотоксичности, нейротоксичности, иммунотоксичности, потенциальной канцерогенности) и биокинетики СЛМП при ингаляционном пути поступления.

THE USE OF SIMULATORS FOR LUNAR AND MARTIAN DUST IN EXPERIMENTAL BIOMEDICAL RESEARCH

Barinov V.A., Zolotoverkhaja E.A.

Golikov Research Clinical Center of Toxicology under the Federal Medical Biological Agency, Saint Petersburg, Russia

vladbar.57@yandex.ru

Abstract. Foreign and domestic data on developed, previously produced, and currently manufactured simulators of lunar soil, Martian soil, and lunar dust have been analyzed. It has been demonstrated that simulators of lunar and Martian dust suitable for toxicological and other biomedical research should be classified as «Specialty». Key parameters important for modeling the pulmonary toxicity and other types of toxicity of lunar and Martian dust simulators in experiments both in vitro and on laboratory animals were identified. When developing domestic simulators of lunar and Martian dust intended for biomedical research, it is advisable to ensure their ability to be divided into at least two fractions according to particle size and grain-size distribution, depending on the objectives of the toxicological experiment.

Keywords: lunar dust, Martian dust, toxicity, lunar and Martian dust simulators.

Introduction. Given the plans for the exploration and colonization of the Moon and Mars by humans in the 21st century, considerable attention is devoted to ensuring the health and safety of expedition members during their interaction with lunar dust (LD) and Martian dust (MD). Due to the unique experience from the Apollo program, the immediate effects of brief human exposure to LD are now well-established. Future human exploration of the Moon and Mars will lead to repeated and prolonged exposure to LD and MD, increasing medical risks associated with latent and long-term effects of dust exposure on the lungs, other organs, and organ systems. LD and MD can be highly hazardous to human health due to their chemical and mineralogical composition, as well as unique physico-chemical properties that arise from the specific environmental conditions of dust formation on the surfaces of the Moon and Mars. For toxicological studies on Earth, specialized simulators of lunar and Martian dust (SLMD) are used, which are derived from suitable simulators of lunar soil (SLS) or Martian soil (SMS), by subjecting them to grinding, chemical modification, and activation. Original samples of LD delivered through the Apollo missions were only used under strict permission from NASA for critical experiments such as determining threshold levels of safe exposure in animal inhalation tests, eye toxicity testing, and immunotoxicity evaluation.

The aim of the study is to justify recommendations for the development of Russian-made SLMD, suitable for experimental biomedical research, based on an analysis and synthesis of scientific literature and databases of main developers, as well as to validate these simulators experimentally.

Methodology and results of the study. The methodology consisted of analyzing scientific literature, foreign databases (Colorado School of Mines, USA; Exolith Lab, USA, etc.), and websites providing information on SLS, SMS, SLMD, and biomedical research conducted using these simulators. These sources contain information on more than 40 SLS developed to reproduce, under terrestrial conditions, imitations of various samples of lunar regolith delivered to Earth by automatic stations and manned missions of the Apollo program. Based on SLS, approximately 6 simulators of lunar dust (SLD) have been created. Some of them simulate LD from maritime regions (LMS-1D, USA), continental areas (LHS-1D, USA), or have a universal character (CLDS-i, PRC). Since samples of Martian soil have not been delivered to Earth, SMS have been created based on remotely acquired data, mainly from the rovers «Curiosity» and «Perseverance». Analysis of scientific literature indicates that domestically-produced SLS (VI-75, VI-LH1) and SMS (VI-M1), developed at the Laboratory of Lunar and Planetary Geochemistry of Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, which are suitable for solving tasks related to large-scale geotechnical experiments, testing of space technology, and scientific spacecraft equipment, are unsuitable for producing SLMD intended for biomedical research in experiments performed in vitro and on laboratory animals due to their chemical and mineralogical composition. This highlights the need for the development of domestic SLMD.

Analysis of data on the mineralogy, chemistry, granulometry, and structural morphology of SLS, SMS, and SLD allowed us to formulate requirements for SLMD suitable for performing experimental biomedical research. These requirements are presented in the report. By quality defining their purpose, SLMD suitable for toxicological and other biomedical studies should be categorized as «Specialty». When developing domestic SLMD intended for biomedical research, it is essential to provide the possibility of dividing them into at least two fractions based on particle size and granulometric composition, depending on the objectives of toxicological experiments. For inhalation administration, ultrafine and nanoparticulate fractions (mean particle size of 100–300 nm) are required. For experiments on cell cultures, as well as assessments of ocular toxicity, dermatotoxicity, including action on damaged skin, coarser fractions of SLMD can be employed.

Of great importance is the selection and development of techniques for conducting experimental studies aimed at assessing pulmonary toxicity, immunotoxicity, cardiotoxicity, neurotoxicity, and potential carcinogenicity. The report presents recommendations on the methodology for conducting toxicological experiments using SLMD in vitro and on laboratory animals. It is noted that when developing domestic SLD for biomedical research, it is advisable to incorporate nanophase metallic iron, allowing for the study of the role of chemical activation of SLD in addressing specific challenges related to ensuring toxicological safety. For biokinetic studies on animals, developing methods of bioindication and accelerated elimination of inhaled particles of lunar and Martian dust, it would be beneficial to create specialized simulators with fluorescent labels.

Conclusions. 1. Recommendations have been formulated for the development of domestic simulators of lunar and Martian dust suitable for experimental biomedical research. 2. Directions have been established for experimental assessment of primary unfavorable biological effects (pulmonary toxicity, cardiotoxicity, neurotoxicity, immunotoxicity, potential carcinogenicity) and biokinetics of SLMD upon inhalation exposure.

ВЛИЯНИЕ ПОВТОРНЫХ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ВРАЩЕНИЙ НА ЦЕНТРИФУГЕ КОРОТКОГО РАДИУСА НА ПОСТУРАЛЬНУЮ И ЛОКОМОТОРНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОСЛЕ 21-СУТОЧНОЙ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ

Бекренева М.П., Пучкова А.А., Лобанов К.А., Савеко А.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

mbekreneva@gmail.com

В условиях длительной двигательной разгрузки и гипокинезии, моделируемых при помощи антиортостатической гипокинезии (АНОГ), наблюдаются существенные изменения со стороны постурального контроля и локомоторной функции. Эти изменения связаны с рядом факторов, включающих снижение уровня опорной афферентации и следующие за ним атонию и снижение силы мышц-разгибателей нижних конечностей, а также угнетение ортостатических рефлекторных механизмов. Перспективным методом профилактики данных нарушений является применение вращений на центрифуге короткого радиуса (ЦКР), позволяющей создавать направленные перегрузки, имитирующие гравитационную нагрузку. Ранее было показано, что постуральные изменения после 21-суточной АНОГ проявляются снижением устойчивости при поддержании вертикального положения тела, включающие асимметрию в стабилометрических

показателях, и ухудшением ортостатической толерантности (Shpakov et al., 2020). При этом применение повторных вращений на ЦКР в интервальном режиме в качестве средства профилактики последствий влияния 21-суточной двигательной разгрузки, создаваемой условиями АНОГ, может быть использовано для частичного предотвращения снижения постуральной и локомоторной устойчивости за счет смягчения воздействия данных факторов на состояние нервно-мышечного аппарата нижних конечностей и функционирование ортостатических рефлекторных механизмов поддержания вертикальной статической и динамической устойчивости (Saveko et al., 2023). Однако вопросы оптимизации режимов вращения, в частности величины перегрузки, продолжительности и частоты сеансов, а также влияния применения ЦКР на процессы сенсорной интеграции, требуют дополнительного изучения.

Целью данной работы являлось исследование влияния применения повторных сеансов ЦКР в интервальном режиме вращений на динамику постуральных и локомоторных характеристик после длительной опорной и двигательной разгрузки в условиях 21-суточной АНОГ. Особое внимание уделялось анализу изменений статокинетической устойчивости, пространственно-временных характеристик ходьбы и распределения опорных нагрузок на стопу.

В исследовании приняли участие 5 здоровых испытуемых-добровольцев мужского пола (средний возраст 45,7 ± 4,7 лет; индекс массы тела 45,7 ± 4,7 кг/м²). В качестве модели 21-суточной двигательной и опорной разгрузки использовали 21-суточную АНОГ с углом наклона –6°. Профилактический протокол включал 6 сеансов вращения на ЦКР с радиусом 235 см и градиентом силы тяжести 74,5 %: один ознакомительный сеанс перед началом АНОГ и пять профилактических сеансов на 8-е, 11-е, 14-е, 17-е и 20-е сутки эксперимента. Каждый сеанс применения ЦКР длился 33 минуты и включал четыре 3-минутные платформы с продольной нагрузкой 1,27 G на уровне стоп, а также три 3-минутные платформы с нагрузкой 1,52 G на уровне стоп.

Исследование постуральной устойчивости и локомоторных функций проводили с использованием сенсорного бароподометрического полотна «2m High-End footscan system» (RSscan International, Бельгия). Исследование постуральной устойчивости проводили в двух условиях: с использованием биологической обратной связи (изображение на экране) при зрительном контроле колебаний центра давления (в течение 20 секунд) и при закрытых глазах (в течение 20 секунд). При этом исследуемыми параметрами явились площадь эллипса колебания центра давления (ЦД) и скорость перемещения ЦД. Локомоторную функцию исследовали по пространственно-временным параметрам произвольной ходьбы, включая скорость, длину и частоту шагов, а также продолжительность фаз опоры и переноса.

Результаты постурального исследования показали, что применение ЦКР в интервальном режиме позволило частично компенсировать негативные эффекты АНОГ. У 2 из 5 испытуемых (в 40 % случаев) в тесте со зрительной обратной связью и без нее не наблюдалось значительного увеличения площади эллипса колебаний ЦД и скорости его перемещения. Так, например, в тесте с закрытыми глазами увеличение площади эллипса колебаний ЦД после 21-суточного АНОГ с ЦКР составило 54,84 ± 27,15 %. При этом интересно отметить, что после воздействия другой широко используемой наземной модели факторов невесомости – 7-суточной «сухой» иммерсии (СИ), быстро и точно воспроизводящей физиологические эффекты опорной и двигательной разгрузки, сопоставимые с воздействием 21-суточной АНОГ (Tomilovskaya et al., 2021), – было зарегистрировано более выраженное ухудшение данного параметра: увеличение площади эллипса колебаний ЦД составило 184,54 ± 30,05 %. При выполнении теста со зрительной обратной связью постуральная устойчивость в группе АНОГ с ЦКР была значительно хуже, чем в тесте с закрытыми глазами: площадь эллипса колебаний ЦД увеличивалась на 287,66 ± 22,71 %. Данные результаты могут свидетельствовать о нарушении процессов сенсорной интеграции вследствие вестибулярной стимуляции во время сеансов ЦКР.

Анализ локомоторной функции выявил лучшую сохранность исследуемых параметров после 21-суточного воздействия АНОГ с ЦКР. В частности, отмечалось незначительное снижение скорости ходьбы (-7,2 ± 4,1 %), отсутствие значимого сокращения длины шага и сохранение сил опорных реакций на исходном уровне. Интересно отметить, что после 7-суточной СИ снижение скорости ходьбы в ходе аналогичного теста было более выраженным – на 18,3 ± 5,6 %. Эти данные свидетельствуют о положительном влиянии интервального режима ЦКР на поддержание динамической устойчивости при ходьбе после длительной опорной разгрузки.

Результаты исследования показывают, что применение интервального режима ЦКР с нагрузкой 1,27-1,52 G на уровне стоп демонстрирует выраженную профилактическую эффективность в отношении постуральных и локомоторных нарушений, вызванных длительной опорной и двигательной разгрузкой. В то же время, наблюдаемое ухудшение постурального контроля при выполнении теста с зрительной обратной связью указывает на необходимость дальнейшего изучения вестибулярных эффектов воздействия ЦКР для оптимизации профилактических протоколов вращения. Полученные данные подтверждают целесообраз-

ность использования ЦКР не только в области космической медицины в качестве меры профилактики негативных последствий опорной и двигательной разгрузки, но и в клинической практике для реабилитации пациентов с нарушениями функций опорно-двигательного аппарата.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН (№ FMFR-2024-0033).

THE EFFECT OF REPEATED INTERVAL ROTATIONS ON A SHORT-RADIUS CENTRIFUGE ON POSTURAL AND LOCOMOTOR STABILITY AFTER 21 DAYS OF HEAD-DOWN BED-REST

Bekreneva M.P., Puchkova A.A., Lobanov K.A., Saveko A.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

mbekreneva@gmail.com

Under the conditions of prolonged motor unloading and hypokinesia, simulated using head-down bed rest (HDBR), significant changes in postural control and locomotor function are observed. These changes are associated with a number of factors, including a decrease in the level of support afferentation and subsequent atony, and decreased strength of the extensor muscles of the lower extremities, as well as inhibition of orthostatic reflex mechanisms. A promising method to counter these disorders is the use of rotations on a short-range centrifuge (SRC), which allows to create directional overloads that simulate a gravitational load. Previously, it has been shown that postural changes after a 21-day HDBR are manifested by a decrease in stability while maintaining an upright body position, including asymmetry in stabilometric parameters, and a deterioration in orthostatic tolerance (Shpakov et al., 2020). At the same time, repeated rotations in the interval mode can be used as a countermeasure against the effects of 21-day motor unloading caused by HDBR to partially prevent a decrease in postural and locomotor stability by mitigating the influence of these factors on the neuromuscular apparatus of the lower extremities and the functioning of orthostatic reflex mechanisms for maintaining vertical static and dynamic stability (Saveko et al., 2023). However, the optimization of rotation modes—specifically the magnitude of g-load, duration, and frequency of sessions, as well as the effects of using the SRC on sensory integration processes—requires further investigation.

The purpose of this study was to investigate the effects of repeated SRC sessions in interval rotation mode on the dynamics of postural and locomotor characteristics after prolonged support and motor unloading under 21-day HDBR conditions. Special emphasis was placed on analyzing changes in statokinetic stability, spatiotemporal parameters of voluntary walking, and the distribution of ground reaction forces.

5 healthy male volunteers (average age 45.7 ± 4.7 years, body mass index 45.7 ± 4.7 kg/m2) participated in this study. A 21-day HDBR with an inclination angle of -6° was used as a model of 21-day motor and support unloading. The countermeasure protocol included 6 sessions of rotation on a SRC with a radius of 235 cm and a gravity gradient of 74.5%: one introductory session before the start of the HDBR and five countermeasure sessions on the 8th, 11th, 14th, 17th and 20th days of the experiment. Each SRC session lasted 33 minutes and included four 3-minute platforms with an axial load of 1.27 g at the feet, as well as three 3-minute platforms with a load of 1.52 g at the feet.

The study of postural stability and locomotor functions was carried out using a sensory baropodometric platform «2m High-End footscan system» (RSscan International, Belgium). The study of postural stability was carried out under two conditions: using biofeedback (image on the screen) with visual control of the center of pressure displacement (for 20 seconds) and with eyes closed (for 20 seconds). In this case, the investigated parameters were the area of the ellipse of the center of pressure (COP) displacement and the velocity of COP displacement. Locomotor function was studied according to the spatiotemporal parameters of voluntary walking, including speed, length and cadence of steps, as well as the duration of the support and swing phases of the gait.

The results of the postural study showed that the use of SRC in the interval mode partially compensated for the negative effects of HDBR. In 2 out of 5 volunteers (in 40% of cases), in the test with visual feedback and with eyes closed, there was no significant increase in the area of the ellipse of the COP displacement and the velocity of its movement. For example, in the eyes closed test, the increase in the area of the ellipse of the COP displacement after a 21-day HDBR with SRC was 54.84 ± 27.15 %. It is interesting to note that after exposure to another widely used ground-based model of weightlessness factors – 7-day Dry Immersion (DI), which rapidly and accurately reproduces the physiological effects of support and motor unloading, comparable to the effects of 21-day HDBR (Tomilovskaya et al., 2021) – a more pronounced deterioration of this parameter was recorded: the increase in the

area of the ellipse of the COP displacement was 184.54 ± 30.05 %. When performing the visual feedback test, postural stability in the HDBR group with SRC was significantly worse than in the test with eyes closed: the area of the ellipse of the COP displacement increased by 287.66 ± 22.71 %. These results may indicate a disorder of sensory integration processes due to vestibular stimulation during SRC sessions.

The analysis of locomotor function revealed the best preservation of the studied parameters after a 21-day HDBR exposure with SRC. In particular, there was a slight decrease in walking speed (-7.2 ± 4.1 %), the absence of a significant reduction in stride length and the preservation of the ground reaction forces at the initial level. It is noteworthy that after 7 days of DI, the decrease in walking speed during a similar test was more pronounced – by 18.3 ± 5.6 %. These data indicate a positive effect of the SRC in repeated interval rotations mode on maintaining dynamic stability when walking after prolonged support unloading.

The results of the study show that the use of the SRC in repeated interval rotations mode with a load of 1.27–1.52 g at the feet demonstrates pronounced countermeasure effect in relation to postural and locomotor disorders caused by prolonged support and motor unloading. At the same time, the observed deterioration of postural control during the visual feedback test indicates the need for further study of the vestibular effects of SRC exposure in order to optimize countermeasure rotation protocols. The data obtained confirm the expediency of using SRC not only in the field of space medicine as a countermeasure against the negative effects of support and motor unloading, but also in clinical practice for the rehabilitation of patients with impaired functions of the musculoskeletal system.

This study was supported within the framework of the fundamental Research program of the Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (FMFR-2024-0033).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ТРЕНИРОВОК В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА ОСНОВЕ ВЕЛИЧИНЫ ОПОРНЫХ РЕАКЦИЙ

Буракова А.А., Кислицын А.А., Фомина Е.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

burakovaanya@yandex.ru

Длительное пребывание в условиях космического полета и сниженной двигательной активности неизбежно приводит к снижению скоростно–силовых качеств мышц ног. Наблюдается мышечная атония и атрофия, а также значительные перестройки в организации мышечного волокна. Основой системы профилактики таких изменений являются физические тренировки, в частности тренировки на бегущей дорожке, обеспечивающие не только кардио-респираторную нагрузку, но и воспроизведение эффектов весовой нагрузки по вертикальной оси тела и опорной нагрузки на рецепторы опоры стопы. Одним из способов оценки эффективности такого противодействия является оценка величины опорных реакций во время тренировок на бегущей дорожке до, во время и после космического полета. Величина опорных реакций индивидуальна и одновременно определяется скоростью и режимом локомоций, а также величиной вертикальной осевой нагрузки при выполнении бега и ходьбы на бегущей дорожке.

Оценка функционального состояния мышц ног в ходе космического полета выполнена на основе анализа величины опорных реакций космонавтов в стандартных тренировках на бегущей дорожке БД-2 во время полугодовых орбитальных космических полетов на МКС, а также величины опорных реакций в локомоторном тесте МО-3 в пассивном режиме движения полотна бегущей дорожки до и после экспериментальных периодов с заменой тренировок на бегущей дорожке на альтернативные средства профилактики (велоэргометр и компенсатор опорной разгрузки). Величина опорных реакций определялась по данным тензометрических датчиков, расположенных под полотном бегущей дорожки БД-2. Кроме того, проанализированы величины опорных реакций и паттерны шага в локомоторном тесте «Индивидуальные стратегии», выполненном до и после космического полета.

Динамика величины опорных реакций для группы космонавтов в ходе полугодовых орбитальных космических полетов свидетельствует о формировании навыка стратегии локомоций в течение первых месяцев пребывания в невесомости. Величина реакции опоры снижена при выполнении бега на дорожке в моторизированном режиме движения полотна и в режиме движения полотна с помощью ног.

В локомоторном тесте, выполненном космонавтами после экспериментального тренировочного периода с заменой тренировок на бегущей дорожке тренировками с компенсатором опорной разгрузки, наблюда-

ется снижение величины опорных реакций на 5–10 % относительно показателей до экспериментального периода. Снижение реакции опоры наблюдается как при быстром и медленном беге, так и при ходьбе. Эти изменения сопровождаются увеличением амплитуды и снижением показателя экспоненты Ляпунова поверхностной электромиограммы мышц голени, что свидетельствует о синхронизации работы двигательных единиц мышцы.

Анализ профиля опорной реакции полотна бегущей дорожки в локомоторных тестах до и после длительных космических полетов демонстрирует значительные изменения в паттернах шага космонавтов. Наблюдается рассинхронизация шагов и профиль двойного шага при ходьбе и беге.

Величина реакции опоры в тренировках на бегущей дорожке позволяет оценить степень воспроизведения опорной нагрузки на рецепторы опоры стопы. С помощью анализа величины опорных реакций в ходе космического полета можно получить представление об изменениях стратегии локомоций и состоянии мышц голени. Эффективность профилактических мер в космическом полете может быть оценена в том числе по изменениям паттерна шага в период реадаптации к условиям Земли.

Исследование поддержано ГК Роскосмос и базовым финансированием РАН (тема FMFR-2024-0037).

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF PHYSICAL TRAINING IN SPACE FLIGHT BASED ON THE LEVEL OF GROUND REACTION FORCES

Burakova A.A., Kislitsyn A.A., Fomina E.V.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

burakovaanya@yandex.ru

Prolonged exposure to space flight conditions and reduced motor activity inevitably leads to a decrease in the speed and strength qualities of the leg muscles. There is muscle atony and atrophy, as well as significant changes in the organization of the muscle fibers. The basis of the countermeasure system for such changes is physical training, in particular treadmill training, which provides not only cardio-respiratory workload, but also reproduces the effects of weight loading along the vertical axis of the body and the support load on the foot receptors. One way to evaluate the effectiveness of such countermeasures is to evaluate the level of the ground reaction forces during treadmill training before, during and after space flight. The level of the ground reaction forces is individual and is simultaneously determined by the speed and mode of locomotion, as well as the magnitude of the vertical axial load during running and walking on a treadmill.

The assessment of the functional state of the leg muscles during space flight was carried out based on the analysis of the level of the ground reaction forces of cosmonauts in standard training on the BD-2 treadmill during semi-annual orbital space flights to the ISS, as well as the level of the ground reaction forces in the MO-3 locomotor test in the passive mode of movement of the treadmill before and after experimental periods with replacement of treadmill training for alternative countermeasure devices (bicycle ergometer and compensator for support unloading). The level of the ground reaction forces was determined from sensors located under the BD-2 treadmill. In addition, the values of the ground reaction forces and step patterns in the locomotor test «Individual strategies» performed before and after space flight were analyzed.

The dynamics of the magnitude of the ground reaction forces for a group of cosmonauts during semi-annual orbital space flights indicates the formation of the skill of locomotion strategy during the first months of stay in zero gravity. The level of ground reaction forces is reduced when running on the treadmill in the motorized mode and in the passive mode of movement.

In a locomotor test performed by cosmonauts after an experimental training period with treadmill training replaced by training with a support unloading compensator, there is a decrease in the value of the ground reaction forces by 5-10 % relative to the levels before the experimental period. A decrease in the ground reaction forces is observed both during fast and slow running, as well as during walking. These changes are accompanied by an increase in the amplitude and a decrease in the Lyapunov exponent of the surface electromyogram of the lower leg muscles, which indicates the synchronization of the work of the motor units of the muscle.

Analysis of the profile of the support reaction of the treadmill in locomotor tests before and after long-term space flights demonstrates significant changes in the stride patterns of cosmonauts. There is a desynchronization of steps and a double step profile during walking and running.

The level of ground reaction forces in treadmill training makes it possible to assess the degree of reproduction of the support load on the foot support receptors. By analyzing the level of ground reaction forces during space

flight, it is possible to get an idea of the changes in the locomotion strategy and the condition of the leg muscles. The effectiveness of countermeasures in space flight can be assessed, among other things, by changes in the step pattern during the period of readaptation to Earth conditions.

The study was supported by Roscosmos State Corporation and the basic funding of the Russian Academy of Sciences (FMFR-2024-0037).

ПАРАМЕТРЫ ГЕМОДИНАМИКИ У ИСПЫТАТЕЛЕЙ-ДОБРОВОЛЬЦЕВ ПРИ ПРЕБЫВАНИИ В УСЛОВИЯХ ГОДОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SIRIUS-23

Васильев И.М.[1, 2], Сорсорова Н.Р.[3], Васильева Г.Ю.[1], Орлов О.И.[1]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия
[2]Медицинский центр «Альтамед+», Одинцово, Россия
[3]Городская клиническая больница № 29 им. Н.Э. Баумана ДЗМ, Москва, Россия

mdivas@mail.ru

Современное состояние общества, особенно в развитых странах, характеризуется повышенным уровнем психоэмоционального стресса на фоне гиподинамии и несбалансированного питания. При этом снижение мышечной активности оказывает пагубное воздействие на организм человека, вызывая нарушение гомеостаза, что в первую очередь отражается на деятельности интенсивно функционирующих систем – симпатоадреналовой, сердечно-сосудистой, дыхательной, пищеварительной и других [Инчина В.И. и др., 1996; Альфонсов В.В.] и является одним из факторов риска раннего развития атеросклероза и сердечно-сосудистых катастроф [Barbara L. et all, 1992; Скипетров В.П., 2005].

Целью данной работы была оценка влияния условий изоляции в гермообъеме (12 месяцев) на состояние сосудистого русла добровольцев-испытателей.

В исследовании приняли участие 6 испытателей-добровольцев (4 женщины и 2 мужчин, возраст 30,8 ± 4,2, масса тела 68,5 ± 13,5 кг, рост 168,6 ± 10,5). Продолжительность изоляционного воздействия составила 365 суток. Ультразвуковое ангиосканирование (УЗАС) и эхокардиография (ЭХО-КГ) каждому из участников эксперимента было выполнено на аппаратах GE LogiqE и GE Vivid E90 одномоментно в фоновый период (за 7–6 суток до начала эксперимента) и в 1-е сутки после выхода. Дополнительно УЗАС было проведено на 30-е сутки после окончания воздействия. Статистическая обработка данных проведена в программе Statistica for Windows v. 12.0 (StatSoft, Inc.).

Анализ первичных данных по изменению гемодинамических параметров артерий шеи и нижних конечностей, а также сосудов в системе нижней полой вены и внутренней яремной вены показал достоверное увеличение скорости кровотока в общей сонной артерии, внутренней яремной вене и общей бедренной артерии справа и слева ($p < 0,05$) сразу после окончания изоляции. После периода реабилитации, на + 30-е сутки, было зарегистрировано достоверное увеличение диаметра общей сонной артерии и площади общей бедренной вены справа относительно +1-х суток ($p < 0,05$).

Немаловажно отметить, что по данным контроля ЭХО-КГ не было зарегистрировано патологических изменений в работе сердца, связанных с изоляцией и гиподинамией. Но можно выделить достоверное физиологическое изменение в виде увеличения конечно-диастолического объема левого желудочка на 20,7 % (M ± m фон 80,17 ± 6,36, последействие 96,83 ± 4,84, $p < 0,05$).

Таким образом, можно предположить, что выявленные изменения могут быть физиологической реакцией организма членов экипажа к условиям хронического стресса, изоляции и гиподинамии. Целесообразно продолжить исследования, в том числе с увеличением количества сессий обследований во время изоляции, что требует непосредственного участия врача с навыками ультразвуковой диагностики внутри научного экспериментального комплекса.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований РАН по теме FMFR-2024-0039.

HEMODYNAMIC PARAMETERS IN VOLUNTEER SUBJECTS DURING A ONE-YEAR ISOLATION PERIOD IN THE SIRIUS-23 EXPERIMENT

Vasilev I.M.[1, 2], Sorsorova N.R.[3], Vassilieva G.Yu.[1], Orlov O.I.[1]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Althamed+ Medical Center, Odintsovo, Russia
[3]N.E. Bauman City Clinical Hospital No. 29, Moscow Department of Health, Moscow, Russia

mdivas@mail.ru

The modern state of society, especially in developed countries, is characterized by an increased level of psycho-emotional stress against a background of physical inactivity (hypodynamia) and an unbalanced diet. Furthermore, reduced muscle activity has a detrimental effect on the human body, disrupting homeostasis. This primarily affects the functioning of intensively working systems – the sympatho-adrenal, cardiovascular, respiratory, digestive, and others [Inchina V. I. et al., 1996; Alfonsov V. V.] – and is a risk factor for the early development of atherosclerosis and cardiovascular events (catastrophes) [Barbara L. Et all 1992; Skipetrov V. P. 2005].

The aim of this work was to assess the impact of isolation conditions within a hermetic facility (12 months) on the state of the vascular system in subjects.

The study involved 6 volunteer subjects (4 women and 2 men, age 30.8 ± 4.2, body weight 68.5 ± 13.5 kg, height 168.6 ± 10.5 cm). The duration of the isolation exposure was 365 days. Vascular ultrasound and echocardiography were performed for each participant simultaneously using GE LogiqE and GE Vivid E90 systems during the baseline period (7–6 days before the start of the experiment) and on the first day post-isolation. Additionally, vascular ultrasoundwas performed on day 30 after the end of the exposure. Statistical data processing was carried out using the Statistica for Windows v. 12.0 software (StatSoft, Inc.).

Analysis of the primary data on changes in hemodynamic parameters of the neck arteries and lower extremities, as well as vessels in the inferior vena cava and internal jugular vein systems, showed a significant increase in blood flow velocity in the common carotid artery, internal jugular vein, and common femoral artery on both the right and left sides ($p<0.05$) immediately after the end of isolation. After the rehabilitation period, on day +30, a significant increase in the diameter of the common carotid artery and the cross-sectional area of the common femoral vein on the right side was recorded compared to day +1 ($p < 0.05$).

It is also important to note that according to the echocardiography monitoring, no pathological changes in heart function associated with isolation and hypodynamia were registered. However, a significant physiological change can be highlighted: a 20.7 % increase in the left ventricular end-diastolic volume (Mean ± m baseline 80.17 ± 6.36, post-exposure 96.83 ± 4.84, $p < 0.05$).

Thus, it can be assumed that the identified changes may be a physiological reaction of the crew members' bodies to the conditions of chronic stress, isolation, and hypodynamia. It is advisable to continue research, including by increasing the number of examination sessions during the isolation period, which requires the direct participation of a physician with ultrasound diagnostics skills inside the scientific experimental complex.

The work was carried out within the framework of the Russian Science Foundation project FMFR-2024-0039.

АПРОБАЦИЯ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО АССИСТИРОВАНИЯ В РЕАЛИЗАЦИИ НАУЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С УЧАСТИЕМ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЭКИПАЖА В ГЕРМООБЪЕКТЕ (RASPLAN)

Васильева Г.Ю., Виноходова А.Г., Попова Ю.А., Черногоров Р.В., Леднёв Е.М., Лукичёва Н.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

galvassilieva@mail.ru

Комплексные медико-биологические эксперименты, моделирующие действие экстремальных факторов на организм человека, требуют тщательной разработки научной программы исследований и специальных-научно-методических подходов при планировании работ коллектива исследователей и непосредственных участников экспериментов–испытателей-добровольцев. Высокая трудоемкость планирования, связанная с необходимостью учитывать сотни экспериментальных научных и операционно-технических методик, а

также медико-диагностических процедур, их взаимовлияние, связи и ограничения, требует значительных временных и интеллектуальных ресурсов научного персонала.

Опыт проведения в ГНЦ РФ – ИМБП РАН уникальных экспериментов с длительной изоляцией экипажей в гермообъектах (SFINCSS'99, Марс-500 и др.) и при различных краткосрочных воздействиях («сухая» иммерсия, антиортостатическая гипокинезия, отработка профилактических режимов вращения на центрифуге короткого радиуса) выявил ряд организационных проблем как долгосрочного, так и ежедневногопланирования и показал необходимость создания автоматизированной системы интеллектуальной поддержки формирования циклограммы для проведения научных экспериментов с участием человека, которая помогала бы группе планирования в организации работ.

В процессе проведения проекта SIRIUS была создана концептуальная модель программного комплекса «Система цифрового ассистирования в организации и в планировании научных экспериментов с участием человека» (шифр – RASplan). Система предоставляет инструменты для создания и редактирования циклограмм с цветовой маркировкой задач. Возможность коллективной работы научных сотрудников, входящих в Группу планирования, испытателей-добровольцев и ответственных исполнителей научных заявок обеспечивается многопользовательским интерфейсом программы RASplanи позволяет контролировать соблюдение экипажем временных и локационных параметров выполнения методик в реальном режиме времени с автоматическим формированием отчетности и оперативной корректировкой планов.

Апробация используемых технических решений и уточнение функциональных требований, предъявляемых к системе цифрового ассистирования, были проведены в эксперименте SIRIUS-23 с участиемшести членов экипажа, находившихся в условиях длительной изоляции в течение года. Операторами-планировщиками на начальном этапе в программном обеспечении (ПО) была сформирована база справочных материалов по разделам: «пользователи», «оборудование», «ограничения», «локации», «задачи» и т.д. В дальнейшем формирование задач для каждого члена экипажа осуществлялось в соответствии с научной программой и, автоматически, с учетом введенных ограничений для тех или иных видов задач.

Анкетирование членов экипажа по вопросам пользования программой RASplan проводилось от одного до трех раз в месяц. В процессе эксплуатации системы пользователями (членами экипажа) выявленные недочеты и пожелания были оформлены как в виде баг-репортов (отчеты об ошибках ПО), так и в виде анкет-опросников. Экипажем высказаны предложения по улучшению функциональности ПО.

Автоматическое формирование аналитических отчетов с временными затратами членов экипажа при проведении различных экспериментальных методик позволило оценить уровень соответствия запланированных времязатрат – реальным.

Таким образом, во время эксперимента SIRIUS-23 были получены данные об эксплуатационных характеристиках системы как со стороны пользователей (членов экипажа), так и операторов (членов Группы планирования), составлен перечень замечаний для последующей разработки рекомендаций, которые должны быть учтены в процессе дальнейших работ по оптимизации и улучшению характеристик системы, включая функциональность и удобство использования. Проведен анализ запланированного и фактического распределения времязатрат по научным и ненаучным операциям.

Программный комплекс RASplan представляет собой перспективное решение для организации медико-биологических исследований при моделировании условий космических миссий. Система может эффективно применяться при проведении экспериментов, связанных с комплексной оценкой функционального состояния организма, мониторингом психофизиологического статуса и групповой динамики взаимодействия в экипаже, апробацией новых методов и технологий медицинского обеспечения, а также для оптимизации циклов активности и отдыха участников эксперимента.

APPROBATION OF THE DIGITAL ASSISTING SYSTEM IMPLEMENTATION IN CONDUCTING THE HUMAN-BASED SCIENTIFIC EXPERIMENTS UNDER CONDITIONS OF PROLONGED CREW ISOLATION IN THE HERMETIC ENVIRONMENT (RASPLAN)

Vassilieva G.Y., Vinokhodova A.G., Popova J.A., Chernogorov R.V., Lednev E.M., Luckichyova N.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

galvassilieva@mail.ru

Complex medical and biological experiments simulating the effects of extreme factors on the human body require accurate development of a scientific research program and special scientific and methodological approaches when planning the work bya team of researchers and direct participants ofthe experiments – the volunteers. The

high workintensity of planning, associated with the need to take into account hundreds of experimental scientific and operational-technical methods, as well as medical diagnostic procedures, their mutual influence, connections and limitations, requires significant time and intellectual resources of scientific personnel.

The experience gained during unique experimentsconducted atthe SSC of RF – IBMP of RAS with long-term isolation of crews in hermetic chambers (such as SFINCSS'99, Mars-500, etc.) and under various short-term factors("dry" immersion, head-down tilt bed-rest, rotation on a short-radius centrifuge) has revealed a number of organizational problems both in long-term and daily planning and demonstrated the necessity to create an computerized system providing intellectual support for generating timelinesto conduct scientific experiments involving humans.This would help the planning group toorganizetheir work.

During the SIRIUS project, a conceptual model of the software package «Digital assistingsystem for organization and planning of scientific experiments involving humans» (code name – RASplan) was developed. The system provides tools for creating and editing the timelines with color-coded task marking. The multi-user interface functionality allows collaborative work among the members of the Planning Group, the volunteers – crew members, and the Principal Investigators of scientific experiments, enabling a real-time monitoring of the crew compliance with temporal and locational parameters for performing test proceduresalong with automatic report generation and dynamic plan adjustments.

Validation of the technical solutions used and refinement of the functional requirements imposed on the digital assistance system were carried out within the framework of the SIRIUS-23 experimentwhichinvolved six crew members who were in the conditions of long-term isolation for a year. At the initial stage, the operators-planners formed a database of reference materials coveringthe sections such as «users», «equipment», «limitations», «locations», «tasks», etc.in the software. Subsequently, the tasks for each crew member were generatedin accordance with the scientific program and, automatically, taking into account input constraints for different types of tasks.

The crew members were surveyed regarding usage of the RASplan program from one to three times a month. During the operation of the system by the users (the crew members), identified shortcomings and suggestionswere documented either throughthe bug reports (reports on software errors) or the questionnaires. The crew members proposed the improvementsto enhance software functionality.

The automatic generation of analytical reports reflecting the crew members' time spent executing various experimental techniques allowed the evaluation of planned versus actual effort expenditure levels.

Thus, during the SIRIUS-23 experiment, the data on the performance characteristics of the system were obtained from both the users (crew members) and the operators (the Planning Groupmembers), a list of remarkswas compiled for subsequent development of recommendations that should be taken into account in the further optimizationefforts aimed at improving system features including the usability and efficiency. An analysis of planned vs.actual distribution of time expenditures across the scientific and non-scientific operations was also performed.

The RASplan software represents a promising solution for organizing the medical and biological studies, simulating the conditions of space missions. It can effectively be applied in the experiments related to a comprehensive assessment of organism functions, psychophysiological status monitoring, the interactions dynamics within a team, validation of new medical support methods and technologies, and also for optimization of activity/rest cycles for the experiment participants.

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ДИНАМИКУ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА (ПРОЕКТ SIRIUS)

Васильева Г.Ю.[1], Щелыкалина С.П.[2, 3], Rahul Saini[1], Мытыпова О.Т.[2], Гордиенко К.В.[1], Соломадин Ю.С.[1], Николаев Д.В.[2]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

[2]Научно-технический центр «МЕДАСС», Москва, Россия

[3]Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова (РНИМУ), Москва, Россия

galvassilieva@mail.ru

Введение. Международный проект SIRIUS (Scientific International Research In Unique terrestrial Station) направлен на моделирование условий, с которыми будут сталкиваться космонавты во время космических миссий, таких как полеты за пределы земной орбиты и проведение работ на лунных базах. Исследование

влияния длительной изоляции на состав тела и состояние жидких сред организма человека, находящегося в стандартизированных условиях гермообъекта, имеет большое значение для разработки стратегий поддержания здоровья экипажа в условиях продолжительных космических экспедиций. Известно, что длительные космические полеты сопряжены с рядом физиологических и психологических рисков, которые могут быть связаны с сопутствующими факторами, такими как гиподинамия и гипотензия, искусственная среда обитания, ограниченная диета, психологическая астенизация и сенсорная депривация. Одним из таких рисков является изменение состояния костно-мышечной системы, включающее потерю мышечной массы и снижение минеральной плотности костей. Особое направление исследований связано с изучением взаимосвязи изменений состава тела с гиподинамией, что представляет значительный интерес для оценки риска сердечно-сосудистых и эндокринно-метаболических заболеваний. Известно, что жировая ткань, являясь активным эндокринным органом, секретирует широкий спектр биологически активных соединений, включая адипокины и адипоцитокины, которые играют ключевую роль в регуляции метаболических процессов при различных патологических состояниях и модуляции сигнальных путей, связанных с развитием стресс-реакций организма. Ряд космических и аналоговых экспериментов демонстрируют характерные изменения состава тела человека при действии факторов космического полета. Наблюдения за динамикой параметров состава тела в экспериментах с длительной изоляцией «Марс-105» и «Марс-520» также показали снижение ТМ и ЖМ у членов экипажей. Исследователи связывают эти изменения как с мотивационными и ценностными установками участников эксперимента (Nichiporuk I.A., Vasilieva G.Y., Noskov V.B., Morukov B.V., 2011), так и с уменьшением амплитуды циркадного ритма парасимпатической автономной нервной системы, дисрегуляциейнейромедиаторных систем (серотонин, норадреналин), изменением цикла сон-бодрствование, алиментарными факторами и развитием хронического стресса (F. Strolloetal., 2018).

Целью данной работы являлась оценка влияния длительной изоляции на интегральные параметры состава тела участников проекта SIRIUS.

Методы исследования. В работе представлены результаты анализа антропометрических показателей и параметров состава тела 17 человек (9 женщин и 8 мужчин) возрастом от 26 до 44 лет, которые приняли участие в трех изоляционных экспериментах.

Оценка параметров состава тела проводилась с помощью биоимпедансного анализатора обменных процессов и состава тела АВС-02 «МЕДАСС» с программой полисегментногоизмерения АВС-0454. Измерения проводились в стандартной позе измерений полисегментного БИА до начала эксперимента и в определенные моменты времени во время изоляции.

В экспериментах SIRIUS принимали участие добровольцы обоих полов, которые были изолированы в специально оборудованных модулях, имитирующих условия космической станции. Измерения проводились дважды до начала экспериментов: фон 1 и фон 2 проходили за 25-38 суток и за 7–14 суток до начала экспериментов, соответственно. Во время изоляции (ИЗ) измерения приходилисьна 16–25 (этапИЗ 1), 35–52 (этап ИЗ 2), 62–87 (этап ИЗ 3), 110–120 (этап ИЗ 4), 146–156 (этап ИЗ 5), 174–183 (этап ИЗ 6), 209–224 (этап ИЗ 7), 238–239 (этап ИЗ 8), 273–275 (этап ИЗ 9), 301–303 (этап ИЗ 10) и 336–338 сутки(этап ИЗ 11).

Результаты участников SIRIUS-19 (120 суток (ИЗ 1–ИЗ 4), 6 испытателей), SIRIUS-21 (240 суток (ИЗ 1–ИЗ 7), 5 испытателей) и SIRIUS-23 (365 суток (этап ИЗ 1–ИЗ 11), 6 испытателей) были объединеныв соответствии с этапами эксперимента.

Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения R (версия 4.3.1; R Core Team, 2023) и интегрированной среды разработки RStudio (версия 2023.06.1; RStudio Team, 2023). Для сравнения результатов измерения, полученных на этапах ИЗ 1–ИЗ 11 с усредненными измерениями до изоляции применялся критерий Вилкоксона, критическая значимость с учетом поправки Бонферрони составляла 0,0045. Накопление данных проводилось в MS Excel 2019.

Результаты и обсуждение. Анализ данных показал, что длительная изоляция оказывает статистически значительное влияние на параметры состава тела человека.

Участники всех трех экспериментов продемонстрировали статистически значимое уменьшение доли жировой массы (доля ЖМ) на 1–5 % относительно показателей до изоляции на этапах с ИЗ 5 по ИЗ 7 (p-значение составило 0,0020, 0,0020 и 0,0029 соответственно). Статистически значимое уменьшение в доле жировой массыотносительно показателей до изоляции на этапах ИЗ 5–ИЗ 7 может быть связано с введением регулярной физической активности и изменениями в рационе питания. Утрата статистической значимости различий на этапах ИЗ 8–ИЗ 11, по-видимому, обусловлено малым количеством наблюдения на этих этапах (только участники SIRIUS-23). При этомуменьшение доли ЖМ сохраняется на этих этапах. Проявление статистически значимых различий только на этапе ИЗ 5 объясняется завершением процесса адаптации организма к условиям изоляции.

Без учета поправки Бонферрони при уровне значимости $p < 0,05$ обнаруживается снижение значений исследуемых параметров относительно фоновых измерений: внеклеточная жидкость, общая вода, внутри-

клеточная жидкость и их индексы, безжировая масса на этапе ИЗ 11; ЖМ и индекс ЖМ на этапе ИЗ 3–ИЗ 7, при этом на этапе ИЗ 6 статистически значимые различия по ЖМ обнаруживаются и при применении поправкиБонферрони; активная клеточная массаи индексактивной клеточной массы на этапах ИЗ 9 – ИЗ11; доля ЖМ на этапе ИЗ 3, ИЗ 4; доля скелетно-мышечной массы на этапах ИЗ 3–ИЗ7.Можно предположить, что увеличение объема выборок сделает эти тенденции статистически значимыми.

Заключение. Результаты исследования показали, что длительная изоляция оказывает влияние на параметры состава тела человека начиная с первого месяца изоляции. По-видимому, основная адаптация к условиям изоляции происходит за первые 2–3 месяца, а дальнейшие различия в большей степени связаны с изменением рациона и индивидуальным поведением.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований РАН по теме FMFR-2024-0039.

THE INFLUENCE OF LONG-TERM ISOLATION FACTORS ON THE DYNAMICS OF THE HUMAN BODY COMPONENT COMPOSITION (SIRIUS PROJECT)

Vassilieva G.Yu.[1], Schelykalina S.P.[2, 3], Rahul Saini[1], Mytypova O.T.[2], Gordienko K.V.[1], Solomadin Yu.S.[1], Nikolaev D.V.[2]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]SRC «Medas», Moscow, Russia
[3]Pirogov Russian National Research Medical University (RNRMU), Moscow, Russia

galvassilieva@mail.ru

Introduction. The international project SIRIUS (Scientific International Research In Unique Terrestrial Station) is aimed at simulation of the conditions that astronauts will face with during space missions, such as flights beyond the Earth's orbit and work on lunar bases. The study of the effect of long-term isolation on the body composition and the state of liquid media in humans staying in standardized conditions of a hermetically closed facility, is of great importance for the development of strategies for maintaining the health of the crew in the conditions of long-term space expeditions. It is known that long-term space flights are associated with a number of physiological and psychological risks that may be associated with concomitant factors such as physical inactivity and hypotension, artificial habitat, limited diet, psychological asthenia and sensory deprivation. One of these risks is a change in the state of the musculoskeletal system, including loss of muscle mass and decrease in bone mineral density. A special area of research is related to the study of the relationship between changes in body composition and physical inactivity, which is of considerable interest for assessing the risk of cardiovascular and endocrine-metabolic diseases. It is known that fat tissue, being an active endocrine organ, secretes a wide range of biologically active compounds, including adipokines and adipocytokines, which play a key role in regulating metabolic processes at various pathological conditions and modulation of signaling pathways associated with the development of thebodystress reactions. A number of space and analog experiments demonstrate specific changes in human body composition under the influence of space flight factors. Observations of the dynamics of body composition parameters in the long-term isolation experiments «Mars-105» and «Mars-520» also showed a decrease in LM (lean mass) and FM (fat mass) of crew members. Researchers associate these changes with both the motivational and value mindsets of the experiment participants (Nichiporuk I.A., Vasilieva G.Y., Noskov V.B., Morukov B.V., 2011), and with a decrease in the amplitude of the circadian rhythm of the parasympathetic autonomic nervous system, dysregulation of neurotransmitter systems (serotonin, norepinephrine), changes in the sleep-wake cycle, alimentary factors and the development of chronic stress (F. Strolloetal., 2018).

The aim of this work was to assess the impact of long-term isolation on integral parameters of body composition of the SIRIUS project participants.

Research methods. The presentation includes the results of the analysis of anthropometric indicators and body composition parameters of 17 people (9 women and 8 men) aged 26 to 44 years who took part in three isolation experiments.

The body composition parameters were assessed using the ABC-02 «MEDASS» bioimpedance analyzer of metabolic processes and body composition with the ABC-0454 polysegment measurement program. The measurements were taken in the standard pose of polysegment BIA measurement before the start of the experiment and at certain time points during isolation.

The SIRIUS experiments involved volunteers of both sexes who were isolated in specially equipped modules simulating space station conditions. Measurements were taken twice before the experiments: background 1 and background 2 took place 25-38 days and 7–14 days before the experiments, respectively. During isolation (IS), measurements were taken on 16–25 (IS stage 1), 35–52 (IS stage 2), 62–87 (IS stage 3), 110–120 (IS stage 4), 146–156 (IS stage 5), 174–183 (IS stage 6), 209–224 (IS stage 7), 238–239 (IS stage 8), 273–275 (IS stage 9), 301–303 (IS stage 10), and 336–338 (IS stage 11)days.

The results of the SIRIUS-19 participants (120 days (IS 1–IS 4), 6 test subjects), SIRIUS-21 (240 days (IS 1–IS 7), 5 test subjects) and SIRIUS-23 (365 days (stage IS 1–IS 11), 6 test subjects) were combined in accordance with the stages of the experiment.

Statistical analysis was performed using R software (version 4.3.1; R Core Team, 2023) and the RStudio integrated development environment (version 2023.06.1; RStudio Team, 2023). To compare the measurement results obtained at stages IS 1–IS 11 with the averaged measurements prior isolation, the Wilcoxon test was used; the critical significance taking into account the Bonferroni correction was 0.0045. Data accumulation was carried out in MS Excel 2019.

Results and discussions. Data analysis showed that long-term isolation had a statistically significant effect on human body composition parameters.

Participants in all three experiments demonstrated a statistically significant decrease in the proportion of fat mass (FM), by 1–5 % at stages IS5–IS7 relative to pre-isolation values (p-values were 0.0020, 0.0020, and 0.0029, respectively). The statistically significant decrease in the proportion of fat mass at stages IS5–IS7 relative to pre-isolation values may be due to the introduction of regular physical activity and changes in diet. The loss of statistical significance of differences at stages IS8–IS11 is apparently due to the small number of observations at these stages (only SIRIUS-23 participants). At the same time, the decrease in the proportion of FM is maintained at these stages. The manifestation of statistically significant differences only at stage IS5 is explained by the completion of the processofbodyadaptationto the isolation conditions.

Without taking into account the Bonferroni correction, a decrease in the values of the studied parameters relative to background measurements is detected at a significance level of $p < 0.05$: extracellular fluid, total water, intracellular fluid and their indices, lean mass at stage IS 11; fat mass and fat mass index at stages IS 3–IS 7, while at stage IS 6, statistically significant differences in fat mass are also detected when applying the Bonferroni correction; active cell mass and active cell mass index at stages IS 9–IS 11; the proportion of FM at stage IS 3, IS 4; the proportion of skeletal muscle mass at stages IS 3–IS 7. It can be assumed that an increase in the sample size will make these trends statistically significant.

Conclusion. The results of the study showed that long-term isolation affects the parameters of human body composition starting from the first month of isolation. It seems that the main adaptation to isolation conditions occurs in the first 2–3 months, and further differences are in a greater degree associated with changes in diet and individual behavior.

The work was carried out within the framework of the fundamental scientific research program of the RAS on the topic FMFR-2024-0039.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЗДОРОВОГО ЧЕЛОВЕКА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SIRIUS-23

Величковская С.Б.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия
Московский государственный лингвистический университет, Москва, Россия

velichkovskaya@gmail.com

Исследование посвящено изучению особенностей проявления психологического неблагополучия и причин возникновения и развития негативных последствий переживания состояний напряженности в деятельности здорового человека при моделировании факторов длительного космического полета в изоляционном эксперименте SIRIUS-23. Данная работа продолжает программу исследований особенностей проявления и эффективности развития адаптационного потенциала у членов экипажа в условиях возникновения, динамики и переживания состояний напряженности в деятельности, проведенных в экспериментах SIRIUS-19 и SIRIUS-21, и основывается на комплексной стратегии изучения профессионального стресса.

Общей целью, поставленной в блоке исследований «Стресс и работоспособность» (СиР), являлась оценка уровня работоспособности, изучение факторов возникновения и развития негативных последствий переживания стресса в деятельности участников эксперимента на разных стадиях осуществления проекта. Внимание было уделено также изучению субъективного образа ситуации, связанного с мотивационным компонентом деятельности индивида как источника формирования и использования комплекса ресурсов при реализации различных видов деятельности с точки зрения личностного благополучия и психического здоровья человека. субъективного образа ситуации. Целостный, дифференцированный образ осуществляемой деятельности обусловливает субъективное отношение к ней и, соответственно, представляет собой значимый фактор, определяющий степень мотивационной включенности в деятельность. Осознанная мотивация лежит также в основе саморегуляции произвольной активности индивида, поэтому воздействие на мотивационную сферу негативных факторов всегда приводит к снижению эффективности целенаправленной деятельности в напряженных/экстремальных условиях. Таким образом, оценка особенностей саморегуляции, мотивационной направленности и субъективного образа деятельности индивида позволит определить специфику работоспособности и проявление негативных последствий переживания состояний напряженности в деятельности на разных стадиях осуществления проекта.

Полученные результаты были проанализированы отдельно по каждой из использованных диагностических методик, а затем представлены в сводном виде для характеристики особенностей и различий адаптации и работоспособности у членов экипажа в целом в условиях возникновения, динамики и переживания состояний напряженности в деятельности на всех стадиях осуществления изоляционного эксперимента. Испытуемые были разделены по гендерному признаку, поскольку в предшествующих изоляционных экспериментах были найдены различия в адаптационных стратегиях, предпочитаемых мужчинами и женщинами в условиях напряженной деятельности при моделировании экстремальных факторов длительного космического полета.

Анализируемая выборка может быть охарактеризована как благополучная с точки зрения проявлений признаков переживания острого и хронического стресса. Все показатели по используемым методикам находятся в диапазоне низко-средних и средних значений и не превышают популяционные нормы. Респонденты субъективно оценивают трудовые ситуации как значимые, а предлагаемые задачи как сложные и разнообразные на всех этапах изоляции с постепенным снижением значений данных показателей по мере приближения к завершению проекта.

Полученные результаты в целом соответствуют результатам предыдущих экспериментов моделирования факторов длительного космического полета в эксперименте SIRIUS-19 и SIRIUS-21. Систематическое накопление таких экспериментальных данных дает возможность проводить не только сравнительный анализ, но и делать на его основе определенные выводы о тенденциях и закономерностях поведения человека в конкретных условиях моделируемого и реального космического полета.

ГНЦ РФ – ИМБП РАН, FMFR-2024-0032.

THE MAIN RESULTS OF THE STUDY OF TENSION STATES IN THE ACTIVITY OF A HEALTHY PERSON IN THE SIRIUS-23 EXPERIMENT

Velichkovskaya S.B.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
Moscow State Linguistic University, Moscow, Russia

velichkovskaya@gmail.com

The research is devoted to the study of peculiarities of manifestation of psychological disadvantage and causes of occurrence and development of negative consequences of experiencing states of tension in the activity of a healthy person when modeling the factors of a long space flight in the isolation experiment SIRIUS-23. This work continues the research program of the peculiarities of manifestation and efficiency of adaptation potential development in crew members under conditions of occurrence, dynamics and experience of tension states in activity, conducted in the experiments SIRIUS-19 and SIRIUS-21, and is based on the complex strategy of studying professional stress.

The general goal set in the research block was to assess the level of working capacity, to study the factors of occurrence and development of negative consequences of stress in the activities of the participants of the experiment at different stages of the project. Attention was also paid to the study of the subjective image of the situation related to the motivational component of an individuals activity as a source of formation and use of a set of resources in the realization of various types of activity from the point of view of personal well-being and

mental health of a person. subjective image of the situation. The integral, differentiated image of the activity being carried out determines the subjective attitude to it and, accordingly, is a significant factor determining the degree of motivational involvement in the activity. Conscious motivation is also the basis of self-regulation of an individuals arbitrary activity, so the impact on the motivational sphere of negative factors always leads to a decrease in the effectiveness of purposeful activity in tense/extreme conditions. Thus, the assessment of self-regulation, motivational orientation and subjective image of an individuals activity will allow us to determine the specifics of working capacity and the manifestation of negative consequences of experiencing states of tension in activity at different stages of project implementation.

The obtained results were analyzed separately for each of the diagnostic techniques used, and then presented in a consolidated form to characterize the features and differences of adaptation and working capacity of the crew members as a whole in the conditions of occurrence, dynamics and experience of states of tension in activity at all stages of the isolation experiment. The subjects were divided by gender, because in previous isolation experiments, differences were found in the adaptation strategies preferred by men and women under conditions of stressful activity when modeling the extreme factors of long-term space flight.

The obtained results generally correspond to the results of the previous experiments of modeling the factors of long-term space flight in the SIRIUS-19 and SIRIUS-21 experiments. Systematic accumulation of such experimental data makes it possible to conduct not only comparative analysis, but also to draw certain conclusions on its basis about trends and regularities of human behavior in specific conditions of simulated and real space flight.

АНАЛИЗ ПРОТЕОМА СУХИХ ПЯТЕН КРОВИ ПРИ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА К ФАКТОРАМ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Вилесов Г.П.[1], Пастушкова Л.Х.[1], Ларина И.М.[1], Каширина Д.Н.[1], Бржозовский А.Г.[2]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

[2]Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия

ya.gosha1222@yandex.ru

Длительная наземная изоляция с имитацией космической миссии вызывает различные адаптационные реакции организма человека в связи с воздействием комплекса негативных факторов. Изучение данных реакций организма на молекулярном уровне позволит разработать наиболее качественный план медицинского обеспечения будущих реальных космических миссий. Исследования, нацеленные на анализ белкового состава крови, методами протеомики, дают большие возможности для оценки молекулярных механизмов адаптации, их метаболических проявлений, путей компенсации неблагоприятных сдвигов, вызванных внешними условиями. Протеом крови отражает как состояние гомеостаза, так и пластичность качественного и количественного состава внеклеточной жидкости в ответ на комплекс экстремальных факторов. Биоинформационные методы делают возможным конкретизировать строение сетей белок-белковых взаимодействий, оценить пути и биологические процессы, обеспечивающие адаптацию к этим условиям в разные периоды исследования. Так, в предшествующих исследованиях, выполненных в условиях 120-суточной изоляции на основе протеомного анализа было установлено, что меняющие свою активность биологические процессы частично были связаны с изменениями структурных белков соединительной ткани (в частности, коллагена), а также процессов вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы, регуляцией обоих звеньев иммунной системы.

Целью данной работы являлось изучение профиля протеомных физиологически активных компонентов крови испытателей в годовой изоляции, осуществленной по программе SIRIUS.

Объектом исследования являются экстракты сухих пятен крови 6 здоровых добровольцев-испытателей, принимавших участие в изоляционном эксперименте. Образцы капиллярной крови объемом 40 мкл отбирались у каждого участника в 5 временных точках: фон (за 2 мес. до изоляции), во время изоляции, через 1, 3 и 6 месяцев и на 7-е сутки после завершения периода изоляции. Отобранные образцы добровольцев в виде сухих пятен крови проходили стандартные этапы пробоподготовки: экстракцию, восстановление, алкилирование и трипсинолиз. После чего пробы анализировали методом жидкостной хроматографии – масс-спектрометрии на основе системы нано-ВЭЖХ Dionex Ultimate3000 (Thermo Fisher Scientific, США) и масс-спектрометра TimsTOF Pro (Bruker Daltonics, США). По масс-спектрам пептидов было идентифицировано 632 различных белка во всех образцах, с максимальным уровнем достоверности. Полученные данные LC-MS/MS были полуколичественно проанализированы с помощью DIA-NN, версия 1.8.1. Полуколичественный анализ проводили на основе нормализованных интенсивностей пиков в спектрах MS, что отражает уровни белков в образцах

относительно значений в фоновых образцах. Статистический анализ проводился в программе Statistica 12 с помощью непараметрического теста Манна-Уитни (p-value < 0,05). Выявление биологических процессов, в которых участвуют выявленные белки, и анализ сети белок-белковых взаимодействий достоверно различающихся белков были осуществлены на основе веб-ресурса STRING (https://string-db.org).

Результаты полуколичественного протеомного анализа экстрактов сухих пятен крови добровольцев, участвовавших в эксперименте с длительной изоляцией в гермообъекте по программе SIRIUS, позволили сделать следующие выводы:

1. Клинически значимых белков с достоверно изменившимися концентрациями не выявлено. Это свидетельствует о достаточно успешном уровне адаптации к условиям эксперимента в гермообъекте и сохранении здоровья испытателей.
2. Через месяц изоляции достоверно увеличиваются 3 белка, которые не были связаны в единую сеть, но участвовали в одном и том же биологическом процессе – отрицательной регуляции активности фагоцитоза. Также в этот период изоляции достоверно уменьшался один белок – трансгелин-2, который является участником ремоделирования цитоскелета, что, возможно, говорит о быстрой реакции клеточных компонентов на изменение объема двигательной активности, и также об усилении фагоцитарной функции и активности процессов презентации антигена.
3. Через 3 месяца изоляции в крови добровольцев достоверно увеличивались 22 белка и большая их часть была связана в единую сеть. Эти белки принадлежат внеклеточному пространству и содержатся в экзосомах. Также в этот период уменьшили свои уровни 9 белков, которые в совокупности с увеличивающимися белками, по-видимому, направлены на один результат – изменение функций систем распознавания антигена и фагоцитарной активности.
4. Через 6 мес изоляции в крови участников эксперимента достоверно увеличиваются 33 белка. Эти белки в основном (кроме 7 протеинов) соединены в единую сеть. Часть из них участвует в внутриклеточных процессах «домашнего хозяйства». Кроме того, выражены белки, относящиеся к биологическим процессам внеклеточной сигнализации. Также в этот период достоверно уменьшились уровни 9 белков, которые принадлежат внеклеточному пространству и содержатся в везикулах.
5. После завершения периода изоляции выявлено достоверное увеличение уровня 34 белков. Все они, кроме трех белков, оказались связаны молекулярными связями в единую сеть. Эти белки участвуют в активации внутриклеточных биологических процессов: регуляции локализации; катаболические процессы. Также в этот период достоверно уменьшилось 13 белков, которые функционируют во внеклеточном пространстве, содержатся в везикулах и микрочастицах крови.

Госзадание FMFR-2024-0032.

ANALYSIS OF THE PROTEOME OF DRIED BLOOD SPOTS DURING ADAPTATION OF THE HUMAN ORGANISM TO THE FACTORS OF LONG-TERM ISOLATION

Vilesov G.P.[1], Pastushkova L.H.[1], Larina I.M.[1], Kashirina D.N.[1], Brzhozovsky A.G.[2]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

ya.gosha1222@yandex.ru

Prolonged ground isolation with a simulated space mission causes various adaptive reactions of the human organism due to exposure to a complex of negative factors. The study of these reactions of the organism at the molecular level will make it possible to develop the best medical support plan for future real space missions. Studies aimed at the analysis of blood protein composition by proteomics methods provide great opportunities for evaluation of molecular mechanisms of adaptation, their metabolic manifestations, ways of compensation of unfavourable shifts caused by external conditions. The blood proteome reflects both the state of homeostasis and the plasticity of the qualitative and quantitative composition of extracellular fluid in response to a complex of extreme factors. Bioinformational methods make it possible to specify the structure of protein-protein interaction networks, to assess the pathways and biological processes that provide adaptation to these conditions in different periods of research. Thus, in previous studies performed under conditions of 120-day isolation on the basis of proteomic analysis it was established that the biological processes changing their activity were partly connected with changes in structural proteins of connective tissue (in particular, collagen), as well as processes of autonomic regulation of the cardiovascular system, regulation of both links of the immune system.

The aim of this work was to study the proteomic profile of physiologically active blood components of probands in a year-long isolation carried out under the SIRIUS programme.

The object of the study are extracts of dried blood spots of 6 healthy test volunteers who took part in the isolation experiment. Capillary blood samples of 40 µl were collected from each participant at 5 time points: background (2 months before isolation), during isolation – after 1, 3 and 6 months, and on the 7th day after the end of the isolation period. Selected samples of volunteers in the form of dried blood spots underwent standard sample preparation steps: extraction, recovery, alkylation and trypsinolysis. Samples were then analysed by liquid chromatography-mass spectrometry using a Dionex Ultimate3000 nano HPLC system (Thermo Fisher Scientific, USA) and a TimsTOF Pro mass spectrometer (Bruker Daltonics, USA). From the peptide mass spectra, 632 different proteins were identified in all samples, with maximum confidence level. The obtained LC-MS/MS data were semi-quantitatively analysed using DIA-NN, version 1.8.1. Semi-quantitative analysis was performed based on normalised peak intensities in MS spectra, which reflects the protein levels in the samples relative to the values in the background samples. Statistical analysis was performed in Statistica 12 software using the non-parametric Mann-Whitney test (p-value < 0.05). Identification of biological processes in which the identified proteins participate and analysis of the network of protein-protein interactions of reliably different proteins were performed on the basis of the STRING web resource (https://string-db.org).

The results of semi-quantitative proteomic analysis of dry blood spot extracts of volunteers who participated in the experiment with prolonged isolation in a sealed facility under the SIRIUS programme allowed us to draw the following conclusions:

1. No clinically significant proteins with reliably changed concentrations were detected. This indicates a sufficiently successful level of adaptation to the conditions of the experiment in the germo-object and preservation of the health of the testers.

2. After 1 month of isolation, 3 proteins that were not connected in a single network but participated in the same biological process – negative regulation of phagocytosis activity – significantly increased. Also during this period of isolation one protein – transgelin-2, which is a participant of cytoskeleton remodelling, significantly decreased, which probably indicates a rapid reaction of cellular components to changes in the volume of motor activity, and also an increase in phagocytic function and activity of antigen presentation processes.

3. After 3 months of isolation, 22 proteins increased significantly in the blood of volunteers and most of them were connected in a single network. These proteins belong to the extracellular space and are contained in exosomes. Also during this period, 9 proteins decreased their levels, which together with the increasing proteins seem to be aimed at one result – alteration of the functions of antigen recognition systems and phagocytic activity.

4. After 6 months of isolation, 33 proteins are significantly increased in the blood of the experimental participants. These proteins are mostly (except for 7 proteins) connected in a single network. Some of them are involved in intracellular 'housekeeping' processes. In addition, proteins related to biological processes of extracellular signalling are expressed. Also during this period, the levels of 9 proteins that belong to the extracellular space and are contained in vesicles decreased significantly.

5. After the end of the isolation period, a significant increase in the levels of 34 proteins was detected. All of them, except for three proteins, appeared to be linked by molecular ties into a single network. These proteins are involved in activation of intracellular biological processes: regulation of localisation; catabolic processes. Also during this period, 13 proteins that function in the extracellular space, contained in vesicles and blood microparticles, decreased significantly

Government assignment FMFR-2024-0032.

МЕЖЛИЧНОСТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И СПЛОЧЕННОСТЬ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ ПОЛЕТА НА ЛУНУ И НАХОЖДЕНИЯ НА ОКОЛОЛУННОЙ ОРБИТЕ (ПРОЕКТ SIRIUS)

Виноходова А.Г.[1], Кузнецова П.Г.[1], Еськов К.Н.[1], Савинкина А.О.[1], Литвинов Е.О.[1], Гущин В.И.[2]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

[2]Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

vinokhodova@imbp.ru

Ближайшей целью освоения человечеством космического пространства является перелет и высадка экипажа на поверхность Луны. Моделирование такой пилотируемой космической миссии на Земле было

целью международного проекта SIRIUS. Эффект культурного и личностного разнообразия ценностей и способностей экипажа к эффективному взаимодействию во время длительных полетов представляет собой комплексную и недостаточно изученную область космической психологии. Наша гипотеза заключалась в том, что чем сильнее гендерные, расовые, национальные и культурные различия между людьми или командами, тем сложнее им установить гармоничные и продуктивные взаимоотношения.

Эксперимент «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ» в рамках проекта SIRIUS посвящен изучению влияния факторов, проистекающих из смешанного характера состава экипажа (например, пол, возраст, национальность, профессия и т.п.), на различные групповые процессы – межличностное взаимодействие, общение и групповую эффективность в условиях 4-, 8-, и 12-месячной изоляции при моделировании экстремальных факторов полета на Луну и нахождения на окололунной орбите.

Использовались методики: PSPA (Личностное восприятие себя и отношений с другими) – 1–2 раза в месяц; PVQ (Портрет ценностей) Ш. Шварца (до и после изоляции), социометрия - 1-2 раза в месяц; ЦОЕ (Ценностно-ориентационное единство) – 1 раз в 1-2 месяца; Гомеостат – 1–2 раза в месяц; групповая дискуссия – 1 раз в месяц, диагностика межличностных отношений Т. Лири – в начале и в конце периода изоляции; интервью (после изоляции).

Результаты: С помощью методики PSPA оценивались так называемые «психологические дистанции», отражающие воспринимаемое сходство или различия между конкретным обследуемым и другими участниками эксперимента. Определение таких дистанций позволяет изучить динамику сплоченности экипажа. Для этого рассчитывался показатель «близости» как единица, деленная на величину дистанции.

Мы сравнивали динамику показателя «близости» по 3-м периодам изоляции (1-я треть, 2-я треть, 3-я треть), а также в фоновом обследовании и в последействии. В эксперименте с 4-х месячной изоляцией SIRIUS-19 показатель психологической «близости» (сплоченности), в фоне был ниже, чем в двух других экспериментах (SIRIUS-21 и SIRIUS-23), но затем в ходе изоляции имел тенденцию к росту и в последней трети изоляции был заметно выше, чем в SIRIUS-21 и SIRIUS-23. В экипаже SIRIUS-21 «близость», наиболее высокая в фоне, постепенно снижалась и в последней трети изоляции и в последействии была ниже, чем в SIRIUS-19 и SIRIUS-23. В эксперименте SIRIUS-23, несмотря на самую большую длительность и развитие конфликтных отношений с одним из членов экипажа в последней трети изоляции, показатель психологической «близости» в целом был самым высоким, по сравнению с другими экспериментами. Экипаж SIRIUS-21 отличался наибольшей степенью разнообразия, имея в своем составе представителей трех разных культур. Экипаж SIRIUS-23, наоборот, был самым однородным по национальному и культурному составу и показал большую сплоченность, чем остальные экипажи. Полученные данные согласуются с гипотезой о влиянии гетерогенности состава экипажа на уровень сплоченности.

Ценностно-ориентационное единство экипажей (показатель сплоченности) находился на одинаковом достаточно высоком уровне до начала изоляции в 4-, 8- и 12-месячных изоляциях. При этом, в SIRIUS-19 наблюдалось незначительное снижение по ЦОЕ в первой половине изоляции с последующим возвращением к фоновым значениям, а в двенадцатимесячном SIRIUS-23 выявлена высокая стабильность показателей единства, особенно по целям и тем личностным качествам, которые недопустимы к проявлению во время изоляции. Снижение единства наблюдалось только во второй половине восьмимесячного эксперимента SIRIUS-21, что также подтвердило гипотезу о более сложном пути формирования предметно-ценностного и предметно-целевого единства неоднородной по составу группы.

Эффективность межличностного взаимодействия оценивалась с помощью методики Гомеостат. Экипаж SIRIUS-19 выполнял гомеостатическое тестирование только до и после 4-месячной изоляции, так как бортовой комплект Гомеостат не был еще разработан. В эксперименте SIRIUS-21 во время изоляции экипаж выполнял методику Гомеостат 1 раз в 2 недели (16 сеансов тестирования). В эксперименте SIRIUS-23 экипаж работал на Гомеостате 1 раз в месяц (12 сеансов тестирования). Таким образом, наибольшие возможности для выработки навыка были у экипажа SIRIUS-21. Мы сравнили результативность (процент решенных задач) экипажей SIRIUS при работе на Гомеостате после окончания изоляции. У экипажа SIRIUS-19 результативность составила 25 %, у экипажа SIRIUS-21 – 40 %, у экипажа SIRIUS-23 – 41,6 %. Эффективность межличностного взаимодействия была лучше у экипажа SIRIUS-23. Хотя у экипажа SIRIUS-21 средняя сложность решенных задач была выше (2,2 против 1,8 у SIRIUS-23), средний показатель Csh/2, отражающий скорость и оптимальность решения задач, был лучше у экипажа SIRIUS-23 (0,581 против 0,655 у SIRIUS-21). У экипажа SIRIUS-19 эти показатели были хуже, так как не было сеансов работы на Гомеостате во время изоляции.

Мы сравнили групповой портрет ценностей по методике PVQ Ш. Шварца, изучающей преимущественно ценности национальной культуры, у трех экипажей после окончания изоляции. Экипаж SIRIUS-19 показал наибольшую значимость ценностей Универсализма и Доброты, для участников SIRIUS-21 больше, чем для других экипажей, были важны ценности Самоопределения и Стимуляции, для экипажа SIRIUS-23, по сравнению с другими экипажами, большую ценность представляли Безопасность, Традиции и Достижения.

Изучение динамики эффективности межличностного взаимодействия и сплоченности трех экипажей, принимавших участие в проекте SIRIUS, показало, что разнообразие состава по гендерному, национальному и культурному признакам влияет на уровень групповой эффективности и сплоченности в условиях изоляции и моделирования экстремальных факторов полета на Луну (ограничение ресурсов, задержка связи и т.п.). Более однородный по составу экипаж SIRIUS-23, несмотря на большую длительность и напряженность в отношениях с одним из участников, в целом продемонстрировал более высокую результативность решения групповых задач и лучшую сплоченность, чем остальные экипажи проекта SIRIUS. Экипаж SIRIUS-19, будучи более сбалансированным по гендерному и национальному составу, также показал рост сплоченности к концу срока 4-х месячной изоляции. Наиболее разнородный по составу экипаж SIRIUS-21 показал наименьший уровень психологической близости и сплоченности к концу 8-месячной изоляции.

Работа выполнена в рамках Программы Фундаментальных научных исследований РАН FMFR-2024-0034.

INTERPERSONAL INTERACTION AND COHESION DURING SIMULATION OF EXTREME FACTORS OF FLIGHT TO THE MOON AND STAY IN LUNAR ORBIT (PROJECT SIRIUS)

Vinokhodova A.G.[1], Kuznetsova P.G.[1], Eskov K.N.[1], Savinkina A.O.[1], Litvinov E.O.[1], Gushin V.I.[2]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Federal Medical and Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

vinokhodova@imbp.ru

The immediate goal of human exploration of outer space is the flight and landing of a crew on the surface of the Moon. Simulation of such a manned space mission on Earth was the goal of the international SIRIUS project. The effect of cultural and personal diversity on the crew's values and abilities to interact effectively during long-term flights is a complex area of space psychology necessary to be study more. Our hypothesis was that the greater the gender, racial, national and cultural differences between individuals or teams, the more difficult it is for them to establish harmonious and productive relationships.

The INTERACTION experiment within the SIRIUS project is devoted to studying the influence of factors arising from the mixed nature of the crew composition (e.g., gender, age, nationality, profession, etc.) on various group processes - interpersonal interaction, communication and group effectiveness under conditions of 4-, 8-, and 12-month isolation when simulating extreme factors of a flight to the Moon and being in lunar orbit.

The following methods were used: PSPA (Personal Self-Perception and Attitudes) – 1-2 times a month; PVQ (Portrait of Values Questionnaire) by S. Schwartz (before and after isolation), sociometric questionnaire – 1–2 times a month; TsOE (Value-Orientation Unity) – once every 1–2 months; Homeostat – 1–2 times a month; group discussion – once a month, diagnostics of interpersonal relationships by T. Leary – at the beginning and at the end of the isolation period; interview (after isolation).

Results: The PSPA method was used to assess so-called «psychological distances» that represent the perceived similarity or differences between a specific subject and other participants in the experiment. Determining such distances allows us to study the dynamics of crew cohesion. For this purpose, the «closeness» indicator was calculated as 1 divided by the distance.

We compared the «closeness» dynamics for 3 periods of isolation (1st third, 2nd third, 3rd third), as well as in the Baseline and in Post-Isolation study. In the experiment with 4-month isolation SIRIUS-19, the Baseline psychological «closeness» (cohesion) was lower than in the other two experiments (SIRIUS-21 and SIRIUS-23), but then during the isolation it tended to grow and in the last third of the isolation it was noticeably higher than in SIRIUS-21 and SIRIUS-23. In the SIRIUS-21 crew, «closeness», which was highest in the Baseline, gradually decreased and in the last third of the isolation and in the post-isolation period it was lower than in SIRIUS-19 and SIRIUS-23. In the SIRIUS-23 experiment, despite the longest duration and development of conflict relations with one of the crew members in the last third of isolation, the psychological "closeness" was overall the highest, compared to other experiments. The SIRIUS-21 crew was distinguished by the greatest degree of diversity, having representatives of three different cultures. The SIRIUS-23 crew, on the contrary, was the most homogeneous in national and cultural composition and showed greater cohesion than the other crews. The obtained data are consistent with the hypothesis about the influence of the crew composition heterogeneity on the level of cohesion.

The value-oriented unity of the crews (also a cohesion indicator) was at the same high level before the isolation in 4-, 8- and 12-month isolations. At the same time, in SIRIUS-19, there was a slight decrease in the value-oriented unity in the first half of the isolation with a subsequent return to Baseline values. In the 12-month

SIRIUS-23, high stability of unity indicators was revealed, especially in goals and those personal qualities that are unacceptable for manifestation during isolation. A decrease in unity was observed only in the second half of the 8-month SIRIUS-21 experiment, which also confirmed the hypothesis about a more complex path to the formation of subject-values and subject-goals unity of heterogeneous groups.

The effectiveness of interpersonal interaction was assessed using the Homeostat methodology. The SIRIUS-19 crew performed Homeostat testing only before and after the 4-month isolation, since the onboard Homeostat kit had not yet been developed. In the SIRIUS-21 experiment, during isolation, the crew performed the Homeostat testing once every 2 weeks (16 testing sessions). In the SIRIUS-23 experiment, the crew worked on Homeostat once a month (12 testing sessions). Thus, the SIRIUS-21 crew had the greatest opportunities to develop the skill. We compared the effectiveness (percentage of solved tasks) of the SIRIUS crews when working on Homeostat in the Post-Isolation period. The SIRIUS-19 crew had an effectiveness of 25 %, the SIRIUS-21 crew had an effectiveness of 40 %, and the SIRIUS-23 crew had an effectiveness of 41.6 %. The SIRIUS-23 crew had better interpersonal interaction efficiency. Although the SIRIUS-21 crew had a higher average complexity of the tasks solved (2.2 versus 1.8 for SIRIUS-23), the SIRIUS-23 crew had a better average Csh/2, which reflects the speed and optimality of task solving (0.581 versus 0.655 for SIRIUS-21). The SIRIUS-19 crew had worse effectiveness, since they did not have any sessions on Homeostat during the isolation.

We compared the group portrait of values according to the PVQ by Sh. Schwartz, which studies mainly the values of national culture, in three crews after the end of isolation. The SIRIUS-19 crew showed the greatest significance of the values of Universalism and Benevolense, for the SIRIUS-21 participants, the values of Self-Determination and Stimulation were more important than for other crews, for the SIRIUS-23 crew, compared to other crews, Security, Traditions and Achievements were of greater value.

A study of the dynamics of interpersonal interaction effectiveness and cohesion in three crews participating in the SIRIUS project showed that diversity in gender, nationality, and culture affects the group efficiency and cohesion in conditions of isolation simulating extreme factors of a flight to the Moon (resource limitations, communication delays, etc.). The more homogeneous SIRIUS-23 crew, despite the longer duration and tension in relations with one of the participants, generally demonstrated higher efficiency in solving group tasks and better cohesion than the other SIRIUS project crews. The SIRIUS-19 crew, being more balanced in gender and nationality, also showed an increase in cohesion by the end of the 4-month isolation. The most heterogeneous SIRIUS-21 crew showed the lowest level of psychological closeness and cohesion by the end of the 8-month isolation.

The study was carried out within the framework of the Fundamental Scientific Research Program of the Russian Academy of Sciences FMFR-2024-0034.

ВИБРОТАКТИЛЬНОЕ СЕНСОРНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ ВЕСТИБУЛЯРНОЙ АФФЕРЕНТАЦИИ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ КОДИРОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОРИЕНТАЦИИ ГОЛОВЫ

Гайнутдинова Э.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

elvigainutdinova@mail.ru

В последнее время основным методом лечения пациентов с вестибулярными нарушениями является вестибулярная реабилитация, которая основана на центральной компенсации и изменении вклада других сенсорных сигналов с помощью упражнений (Medendorp W.P. et al., 2018). Доказано, что вестибулярная реабилитация эффективна при многих вестибулярных расстройствах, но менее эффективна у пациентов, страдающих от нарушения равновесия в повседневной жизни, которое усиливается в темноте и на неровной поверхности, что, в свою очередь, приводит к повышению частоты падений (Telian S.A. et al.,1991). В данной группе пациентов вестибулярная реабилитация оказывает незначительное и непостоянное влияние на контроль позы. Таким образом, требуется изучение новых подходов, способных повысить эффективность вестибулярной реабилитации (Basta D. et al., 2023).

Другой подход к повышению качества жизни таких пациентов – использование сенсорного замещения вестибулярной афферентации. В данном подходе информация об ориентации частей тела, получаемая от электромеханических датчиков, используется для формирования стимула обратной связи, который может быть использован центральной нервной системой для формирования внутреннего представления о вертикали и адекватных постуральных реакций.

Вибротактильная стимуляция оптимальна для обратной связи, так как тактильная стимуляция обрабатывается интуитивно и приводит к непроизвольной коррекции положения. Также, вибротактильный стимул, в отличие от визуального или акустического стимула, не препятствует получению информации от окружающей среды. Используется два различных подхода: с постоянным вибрационным сигналом, который зависит от колебаний тела, и с сигналом, который подается только при превышении определенных диапазонов колебаний (Basta D. et al., 2023).

В данной работе рассматривается применение устройства, обеспечивающего постоянный вибрационный сигнал, кодирующий информацию об ориентации головы положением вибрационного стимула на поверхности черепа Данный метод является инновационным, и его эффективность требует экспериментальной проверки.

Доклад посвящен результатам физиологического тестирования прототипа на здоровых испытателях-добровольцах.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ - ИМБП РАН (№ FMFR-2024-0033).

VIBROTACTILE SENSORY SUBSTITUTION OF VESTIBULAR AFFERENTATION WITH SPATIAL ENCODING OF HEAD ORIENTATION INFORMATION

Gainutdinova E.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

elvigainutdinova@mail.ru

Recently, vestibular rehabilitation, which is based on central compensation and modifying the contribution of other sensory cues through exercise, has been the mainstay of treatment for patients with vestibular disorders (Medendorp W.P. et al., 2018). Vestibular rehabilitation has been shown to be effective in many vestibular disorders, but less effective in patients suffering from balance impairment in daily life, which is exacerbated in the dark and on uneven surfaces, which in turn leads to an increased incidence of falls (Telian S.A. et al.,1991). In this group of patients, vestibular rehabilitation has little and variable effect on posture control. Thus, new approaches that can improve the effectiveness of vestibular rehabilitation need to be explored (Basta D. et al., 2023).

Another approach to improve the quality of life of these patients is the use of sensory substitution of vestibular afferentation. In this approach, information about the orientation of body parts obtained from electromechanical sensors is used to form a feedback stimulus that can be used by the central nervous system to form an internal representation of verticality and adequate postural responses.

Vibrotactile stimulation is optimal for feedback because tactile stimulation is processed intuitively and leads to involuntary position correction. Also, vibrotactile stimulus, unlike visual or acoustic stimulus, does not interfere with information from the environment. Two different approaches are used: with a constant vibration signal that depends on body vibrations and with a signal that is only given when certain vibration ranges are exceeded (Basta D. et al., 2023).

This paper discusses the application of a device that provides a constant vibration signal encoding information about the orientation of the head by the position of the vibration stimulus on the surface of the skull This method is innovative and its effectiveness requires experimental verification.

The paper is devoted to the results of physiological testing of the prototype on healthy volunteer testers.

The work was carried out within the framework of the fundamental research program of the State Scientific Center of the Russian Federation - IMBP RAS (No. FMFR-2024-0033).

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ НА РАБОТУ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА: ДАННЫЕ СИТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕФЕСТ

Гайсёнок О.В.

Объединенная больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации, Москва, Россия

ovg.07@bk.ru

Для определения влияния геомагнитных бурь (ГМБ) на риски развития инфаркта миокарда (ИМ) и мозгового инсульта (МИ) был проведен систематический обзор и мета-анализ данных, который подтвердил влияние ГМБ на риски ИМ (средний ОР 1,3–1,5) и МИ (средний ОР 1,25–1,6). В то же время были были отмечены существенные ограничения: небольшое количество включенных исследований, различия в их методологии, методах статистического анализа и выбора геомагнитных индексов, используемых для подтверждения ГМБ.

Чтобы получить информацию об их взаимных корреляциях, различиях и/или тождественности различных геомагнитных индексов в дни спокойного и возмущенного магнитного поля Земли, регистрируемых и предоставляемых ведущими отечественными и международными центрами геомониторинга, а также оценить изменение функциональных показателей работы сердечно-сосудистой системы и общего самочувствия человека в зависимости от степени возмущенности магнитного поля Земли, было спланировано наблюдательное исследование ГЕФЕСТ (Оценка влияния ГЕомагнитных бурь на Функциональные показатели работы сердечно-сосудистой системы и общее состояниЕ человека в зависимости от возраста и соматического СТатуса). Наряду с медицинскими данными, регистрируемыми при первичном и повторном визите (в дни спокойного и возмущенного магнитного поля Земли), в базе данных производился учет и регистрация локальных, региональных и планетарных трехчасовых и суточных К, Кр и Ар-индексов, а также Dst-индекс, на основании анализа данных ведущих центров геомониторинга. Проведение настоящего исследования было одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ ОБП (протокол №4а от 30.10.2023г.).

Анализ результатов показал, что все геоиндексы коррелировали с друг другом только в рамках того дня, который характеризовал спокойное или возмущенное поле (r от 0,73 до 0,97). Перекреста корреляций между индексами, зарегистрированными в разные дни, не отмечено. DST-индекс показал сильные корреляционные связи с другими геомагнитными индексами (r от 0,77 до 0,93) только в день возмущенного магнитного поля Земли. Существенные различия получены при сравнении локального и планетарного, а также регионального и планетарного геомагнитных индексов, зарегистрированных в одно время (1К-3 vs 1Кр-3, p = 0,008; 1АрMos vs 1Ар-24, p = 0,024). Полученные данные указывают на то, что при планировании исследований важно правильно выбирать тип индекса, характеризующего возмущение геомагнитного поля в соответствии с задачами, поставленными в исследовании. Представляется, что величине воздействия геомагнитного поля на человека лучше соответствуют локальные индексы, измеряемые в конкретном географическом регионе, и представляется правильным использовать именно их при проведении подобных исследований.

Дополнительные данные по анализу изменений функциональных показателей работы сердечно-сосудистой системы и бальной оценки по валидированному опроснику САН были получены на представительной выборке участников исследования (n = 30), опрос и анкетирование, которых были проведены в день спокойного геомагнитного поля (визит 1) и в день подтвержденной геомагнитной бури (визит 2: К-индекс, 5 баллов – 19 чел., 6 баллов – 10 чел., 7 баллов – 1 чел.). Настоящее исследование продемонстрировало впервые динамику изменений показателей расчетного биологического возраста, индекса сосудистой жесткости, индекса стресса Баевского и изменения показателей общего состояния и самочувствия человека, расчитаного на основании валидированого опросника САН в день подтвержденной магнитной бури в момент второго визита (анкетирования). Впервые в настоящем исследовании продемонстрирована существенная роль таких факторов как курение, артериальная гипертензия, прием определенных групп кардиологических препаратов, на проявление симптомов метеочувствительности, изменение физиологических параметров работы сердечно-сосудистой системы человека и его ответ на внешнее геомагнитное воздействие на основании динамики показателей валидированного опросника САН.

ASSESSING THE IMPACT OF GEOMAGNETIC STORMS ON THE FUNCTIONING OF THE HUMAN CARDIOVASCULAR SYSTEM: DATA FROM A SYSTEMATIC ANALYSIS AND THE RESULTS OF THE OBSERVATIONAL STUDY GEFEST

Gaisenok O.V.

United hospital with Outpatient clinic, Moscow, Russia

ovg.07@bk.ru

To determine the impact of geomagnetic storms (GMS) on the risks of myocardial infarction (MI) and stroke (SI), a systematic review and meta-analysis of the data was conducted, which confirmed the impact of GMS on the risks of MI (average OR 1.3–1.5) and MI (average OR 1.25–1.6). At the same time, significant limitations were noted: a small number of included studies, differences in their methodology, statistical analysis methods and the choice of geomagnetic indices used to confirm GMS. In order to obtain information on their mutual correlations, differences and/or identities of various geomagnetic indices on days of calm and disturbed magnetic field of the Earth, recorded and provided by leading domestic and international geomonitoring centers, and to assess changes in functional indicators of the cardiovascular system and general well-being of a person depending on the degree of disturbance of the Earth's magnetic field, an observational study GEFEST (Evaluation of the Impact of Geomagnetic Storms on Functional Indicators of the Cardiovascular System and General Well-Being of a Person Depending on Age and Somatic Status) was planned. Along with medical data recorded during the initial and repeat visit (on days of calm and disturbed magnetic field of the Earth), the database included accounting and registration of local, regional and planetary three-hour and daily K, Kp and Ap indices, as well as the Dst index, based on the analysis of data from leading geomonitoring centers. The present study was approved by the local ethics committee of the FSI United hospital wih Outpatient clinic (protocol No. 4a dated October 30, 2023). The analysis of the results showed that all geoindices correlated with each other only within the framework of the day that characterized a calm or disturbed field (r from 0.73 to 0.97). There was no cross-correlation between the indices recorded on different days. The DST index showed strong correlations with other geomagnetic indices (r from 0.77 to 0.93) only on the day of the disturbed magnetic field of the Earth. Significant differences were obtained when comparing the local and planetary, as well as regional and planetary geomagnetic indices recorded at the same time (1K-3 vs 1Kp-3, $p = 0.008$; 1ApMos vs 1Ap-24, $p = 0.024$). The obtained data indicate that when planning studies, it is important to correctly select the type of index characterizing the disturbance of the geomagnetic field in accordance with the objectives set in the study. It seems that the magnitude of the impact of the geomagnetic field on humans is better matched by local indices measured in a specific geographic region, and it seems correct to use them when conducting such studies. Additional data on the analysis of changes in the functional indicators of the cardiovascular system and the point assessment according to the validated SAN questionnaire were obtained on a representative sample of study participants ($n = 30$), the survey and questionnaires of which were conducted on the day of a calm geomagnetic field (visit 1) and on the day of a confirmed geomagnetic storm (visit 2: K-index, 5 points – 19 people, 6 points – 10 people, 7 points – 1 person). This study demonstrated for the first time the dynamics of changes in the indicators of estimated biological age, vascular stiffness index, Baevsky stress index and changes in the indicators of general condition and well-being of a person, calculated on the basis of a validated SAN questionnaire on the day of a confirmed magnetic storm at the time of the second visit (questionnaire). For the first time in this study, a significant role of such factors as smoking, arterial hypertension, taking certain groups of cardiological drugs on the manifestation of meteosensitivity symptoms, changes in the physiological parameters of the human cardiovascular system and its response to external geomagnetic impact based on the dynamics of the validated SAN questionnaire indicators was demonstrated.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АНАЛИЗ КОГЕРЕНТНОСТИ ЭЭГ ДО И ПОСЛЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ И КОГНИТИВНЫХ ЗАДАЧ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ SIRIUS-23

Ганичева А.А., Кокуева М.А., Аверьянов М.С., Фомина Е.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

annaganicheva16@gmail.com

В космическом полете большое влияние на операторскую работоспособность человека оказывают факторы сенсорной депривации, монотонии и социальной изоляции. При этом в системе профилактики

большое внимание уделяется физическим упражнениям, которые, в свою очередь, могут влиять на когнитивные функции, успешность решения когнитивных задач. Однако в настоящее время недостаточно исследований о связи физической активности и психической работоспособности в условиях изоляции. В особенности могут быть интересны психофизиологические изменения, в частности, изменения параметров, характеризующих активность головного мозга. Целью данной работы стало изучение динамики спектральных характеристик и когерентности ЭЭГ до и после физической нагрузки и когнитивных задач у участников наземного модельного 12-месячного эксперимента SIRIUS-23.

Исследование проводилось в рамках эксперимента по длительной изоляции (365 суток) SIRIUS-23 с участием 6 испытателей (2 мужчин, 4 женщины, средний возраст – 32 года). Профилактические мероприятия против гиподинамии в «SIRIUS-23» осуществлялись посредством физических тренировок на активной и пассивной беговых дорожках, а также велоэргометре. В начале каждого тренировочного мезоцикла и после изоляции проводилась тренировка с возрастающей нагрузкой до 15 км/ч на активной беговой дорожке с регистрацией ЧСС (датчик Polar). После тренировки участники выполняли батарею когнитивных тестов: Струп-тест, тест «Память на числа», тест «Слежение за движущимся объектом», «Черно-красные таблицы Шульте-Горбова», а также тест Торренса. В каждом втором мезоцикле до и после тренировки, а также после выполнения батареи тестов осуществлялась запись 19-канальной ЭЭГ в течение 3 минут в покое при закрытых глазах. Выполнялась первичная обработка электроэнцефалографических записей, включающая использование фильтров высоких и низких частот и выделение эпох анализа. Проводился анализ динамики спектральных параметров ЭЭГ, в частности, средней и полной мощности, индекса ритма и асимметрии сигнала различных частотных диапазонов, а также когерентный анализ.

Результаты показывают индивидуальные различия по индексу ритма и средней мощности активности в альфа-диапазоне, а также изменение данных показателей в ходе выполнения теста: рост после выполнения физической нагрузки и снижение после выполнения когнитивных тестов. Анализ когерентности сигнала дает разнонаправленные результаты у разных участников исследования. Одной из наиболее часто встречающихся закономерностей можно назвать усиление средней когерентности ЭЭГ по мощности между центральными и фронтальными областями мозга в альфа-диапазоне после физической нагрузки.

Результаты выполнения участниками эксперимента когнитивных тестов не демонстрируют значимое изменение показателей по группе участников. Однако обнаруживаются значимые индивидуальные различия ($p < 0.05$), участники с лучшими показателями физической работоспособности лучше справлялись с выполнением когнитивных задач. В целом по группе, наблюдается значимое снижение максимальной ЧСС, а также снижение пульсовой суммы на ступенях покоя и ходьбы 3–6 км/ч на 9-ый месяц изоляции по сравнению с 1-м месяцем и периодом после изоляции ($p < 0.05$), что может отражать улучшение физической работоспособности в ходе изоляции.

Таким образом, после выполнения физической нагрузки в эксперименте с длительной изоляцией SIRIUS-23 наблюдается повышение активности альфа-ритма ЭЭГ в покое при закрытых глазах, что может свидетельствовать о благоприятном влиянии нагрузки на проявления стрессорных реакций.

Исследование поддержано базовым финансированием РАН (тема FMFR-2024-0037).

SPECTRAL CHARACTERISTICS AND COHERENCE ANALYSIS OF EEG BEFORE AND AFTER PHYSICAL EXERCISE AND COGNITIVE TASKS IN THE LONG-TERM ISOLATION EXPERIMENT SIRIUS-23

Ganicheva A.A., Kokueva M.A., Averyanov M.S., Fomina E.V.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

annaganicheva16@gmail.com

In space flight, the factors of sensory deprivation, monotony and social isolation have an influence on human operator performance. At the same time, the countermeasure system includes a lot of physical activity, which can affect cognitive functions and the success of solving cognitive problems. However, there is currently insufficient research on the relationship between physical exersices and mental performance in isolation. Psychophysiological changes, in particular, changes in parameters characterizing brain activity, may be of particular interest. The aim of this work was to study the dynamics of spectral characteristics and EEG coherence before and after physical activity and cognitive tasks in participants in the ground-based 12-month model experiment «SIRIUS-23».

The study was conducted as part of the long-term isolation experiment (365 days) «SIRIUS-23» with the participation of 6 test subjects (2 men, 4 women, average age - 32 years). Countermeasures against hypodynamia

in SIRIUS-23 included physical training on active and passive treadmills, as well as a bicycle ergometer. At the beginning of each training mesocycle and after isolation, training was carried out with an increasing load of up to 15 km/h on an active treadmill with heart rate registration (Polar sensor). After the training, the participants performed a battery of cognitive tests: Stroop test, «Memory for numbers» test, «Tracking a moving object» test, «Black and red Schulte-Gorbov tables», and the Torrance test. In every second mesocycle before and after the training, as well as after the battery of tests, a 19-channel EEG was recorded for 3 minutes at rest with eyes closed. Primary processing of electroencephalographic records was performed, including the use of high- and low-pass filters and the selection of analysis epochs. An analysis of the dynamics of the spectral parameters of the EEG was carried out, in particular, the average and total power, the rhythm index and the asymmetry of the signal of various frequency ranges, as well as a coherence analysis.

The results show individual differences in the rhythm index and average power of activity in the alpha range, as well as changes in these indicators during the test: an increase after physical exercise and a decrease after cognitive tests. The analysis of signal coherence gives multidirectional results for different study participants. One of the most common patterns is an increase in the average EEG coherence in power between the central and frontal areas of the brain in the alpha range after physical exercise.

The results of the cognitive tests performed by the experiment participants do not demonstrate a significant change in the indicators for the group of participants. However, significant individual differences are found ($p < 0.05$), participants with better physical performance performed better on cognitive tasks. In the group as a whole, a significant decrease in maximum heart rate is observed, as well as a decrease in the pulse sum at rest and walking stages of 3-6 km / h in the 9th month of isolation compared to the 1st month and the period after isolation ($p < 0.05$), which may reflect an improvement in physical performance during isolation. Thus, after performing physical exercise in the long-term isolation experiment SIRIUS-23, an increase in the activity of the EEG alpha rhythm at rest with closed eyes is observed, which may indicate a favorable effect of exercise on the manifestations of stress reactions.

The study was supported by basic funding from the Russian Academy of Sciences (topic FMFR-2024-0037).

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕКОМПРЕССИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫСОТНОМ ПАРАШЮТИРОВАНИИ НА ОСНОВЕ КРИВОЙ В.И. ЧАДОВА

Гвоздкова К.В., Матюшев Т.В., Максимова И.Д., Немцева А.С.

Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия

kcgvozdkova@gmail.com

Высотное парашютирование является сложным видом спортивных состязаний, связанным с экстремальными условиями окружающей среды. Одной из ключевых угроз для здоровья парашютистов является высотно-декомпрессионная болезнь (ВДБ), возникающая из-за резкого снижения атмосферного давления при подъеме на большие высоты. Это состояние приводит к образованию газовых пузырьков в крови и тканях организма, что чревато серьезными последствиями, такими как нарушение кровообращения, неврологические расстройства и даже летальный исход.

В связи с этим разработка методов прогнозирования ВДБ и оптимизации режимов декомпрессии приобретает особую значимость. Особенно актуальна эта проблема для военных и спасателей, выполняющих прыжки с высот, превышающих 7 000–10 000 метров. Традиционные подходы к обеспечению безопасности не всегда применимы в условиях оперативных заданий, что требует создания новых математических моделей, способных точно оценивать риски и предлагать оптимальные решения.

Таким образом, целью исследования являлось создание математической модели, позволяющей прогнозировать риск развития ВДБ у парашютистов на основе модифицированной концепции Дж. Скотта Холдейна. Данная модель позволяет учитывать:

- различные профили полета (включая взлет, набор высоты, десатурацию и спуск);
- физиологические параметры организма (кровоснабжение тканей, газообмен в легких);
- влияние дыхательных смесей.

Дополнительной задачей являлась экспериментальная проверка модели на адекватность и разработка рекомендаций по безопасным режимам декомпрессии.

Организм был представлен в виде пяти тканевых компартментов с разными периодами полунасыщения азотом: 5 минут – кровь и лимфа; 10 минут – головной и спинной мозг, железы; 20 минут – мышцы; 40 минут – жировая ткань; 75 минут – сухожилия и связки.

В качестве основной модели респираторной системы в данном исследовании была выбрана модель Матюшева Т.В. и соавторами (2021). Для оценки абсолютного насыщения организма азотом на каждом этапе полета использовалась традиционная модель Холдейна. При анализе таких критических фаз, как взлет и посадка, давление азота в альвеолярном воздухе вычислялось через среднее арифметическое значение его напряжения в альвеолах. Расчет газообмена включал определение давления газов в альвеолах, величину альвеолярной вентиляции, а также потребления кислорода и выделения углекислого газа. Для участков полета с изменяющимся давлением (взлет, посадка) применялась адаптированная версия уравнения, учитывающая динамику насыщения тканей азотом. Безопасная высота рассчитывалась по формуле, аппроксимирующей экспериментальные данные В.И. Чадова.

Были проведены 3 вычислительных эксперимента имитирующие:

1. Базовый профиль полета (разгерметизация до 10 000 м).
2. Корректировка высоты (снижение до 7327 м).
3. Десатурация кислородом с земли.

Базовый профиль полета предусматривал:

1. Взлет до 3000 м (10 минут, дыхание воздухом).
2. Десатурацию кислородом в течение 1 часа.
3. Разгерметизацию до 10 000 м (5 минут).

Результаты первого эксперимента показали превышение безопасного уровня давления азота в тканях на 109 мм рт. ст., что создавало высокий риск ВДБ.

Во втором эксперименте высота разгерметизации была снижена до 7327 м – безопасного уровня, установленного в предыдущем исследовании Снижение высоты уменьшило перепад давления, но полностью не исключило риск ВДБ. Это свидетельствует о том, что одного лишь изменения высоты недостаточно для обеспечения безопасности.

Третий эксперимент проводился с использованием первоначального профиля полета, но с применением десатурации с земли. Эксперимент с дыханием чистым кислородом с самого начала полета показал, что безопасное давление азота было достигнуто. Разница между реальной и безопасной высотой составила всего 107,9 м, что допустимо.

Этот эксперимент продемонстрировал практическую значимость десатурации при ВДБ и стал основой для дальнейших исследований, сосредоточенных на взаимосвязи между безопасностью полета, временем и высотой применения десатурации.

Таким образом, разработанная модель является эффективным инструментом для прогнозирования ВДБ и может быть использована при планировании полетов. Десатурация кислородом является наиболее эффективный способ снижения риска, но требует оптимизации по времени и высоте применения. Корректировка высоты разгерметизации полезна, но не заменяет полноценной десатурации.

Перспективы исследования включают:

- учет индивидуальных физиологических особенностей парашютистов;
- разработку автоматизированных систем мониторинга декомпрессии в реальном времени.

Полученные результаты исследования позволили выявить физиологические условия, способствующие возникновению ВДБ у парашютистов, которые зависят от безопасных уровней давления и высоты. Важным достижением работы стало создание и обоснование модели прогнозирования риска ВДБ, что может служить основой для разработки методических и алгоритмических подходов к анализу декомпрессионной безопасности. Модель вносит значительный вклад в обеспечение безопасности высотных прыжков и позволяет не только прогнозировать риски, но и оптимизировать режимы полетов, что особенно важно для военных и спасательных операций. Параметры, полученные в ходе вычислительных экспериментов, открывают возможности для дальнейшего изучения и обоснования медико-технических требований к проведению высотного парашютирования, учитывая физиологические аспекты, влияющие на безопасность полетов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию модели в системы реального времени и разработку персонализированных рекомендаций для парашютистов.

ANALYSIS AND PREDICTION OF DECOMPRESSION SAFETY DURING HIGH-ALTITUDE SKYDIVING BASED ON THE V.I. CHADOV CURVE

Gvozdkova K.V., Matyushev T.V., Maksimova I.D., Nemtseva A.S.

Central Research Institute of the Air Force Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

kcgvozdkova@gmail.com

High-altitude skydiving is a challenging sport that involves extreme environmental conditions. One of the key health risks for skydivers is high-altitude decompression sickness (HADS), which occurs due to a sudden decrease in atmospheric pressure when ascending to high altitudes. This condition leads to the formation of gas bubbles in the blood and tissues of the body, causing serious consequences such as circulatory disorders, neurological impairments, and even death. Therefore, developing methods for predicting HADS and optimizing decompression regimes is of utmost importance. This problem is especially relevant for military personnel and rescuers who perform jumps from heights exceeding 7,000-10,000 meters. Traditional approaches to ensuring safety are not always applicable in operational settings, which requires the development of new mathematical models that can accurately assess risks and provide optimal solutions.

Thus, the aim of the study was to create a mathematical model that makes it possible to predict the risk of developing airborne diseases in parachutists based on a modified concept by J. Scott Haldane. This model allows you to take into account:• various flight profiles (including takeoff, climb, desaturation and descent);• physiological parameters of the body (blood supply to tissues, gas exchange in the lungs);• the effect of breathing mixtures.An additional task was the experimental verification of the model for adequacy and the development of recommendations on safe decompression modes.The body was divided into five tissue compartments with different half-saturation periods for nitrogen: 5 minutes for blood and lymph; 10 minutes for the brain and spinal cord, and glands; 20 minutes for muscles; 40 minutes for adipose tissue; and 75 minutes for tendons and ligaments.

The model of Matyushev T.V. and co-authors (2021) was chosen as the main model of the respiratory system in this study. The traditional Haldane model was used to assess the absolute saturation of the body with nitrogen at each stage of flight. When analyzing critical phases such as takeoff and landing, the pressure of nitrogen in the alveolar air was calculated using the average arithmetic value of its tension in the alveoli. The calculation of gas exchange included determining the pressure of gases in the alveoli, the amount of alveolar ventilation, as well as the consumption of oxygen and the release of carbon dioxide. For flight sections with changing pressure (takeoff, landing), an adapted version of the equation was used, taking into account the dynamics of nitrogen saturation in tissues. The safe altitude was calculated using a formula that approximates the experimental data of V.I. Chadov. Three computational experiments were conducted to simulate:

1. Take-off to 3000 m (10 minutes, breathing air).
2. Desaturation with oxygen for 1 hour.
3. Decompression to 10,000 m (5 minutes).

The results of the first experiment showed that the safe level of nitrogen pressure in the tissues exceeded 109 mmHg, which created a high risk of VDB.In the second experiment, the altitude of depressurization was reduced to 7,327 m, a safe level established in the previous study. The reduction in altitude decreased the pressure difference, but did not completely eliminate the risk of VDB. This indicates that changing the altitude alone is not sufficient to ensure safety. The third experiment was conducted using the original flight profile, but with the addition of desaturation from the ground. The experiment involving breathing pure oxygen from the beginning of the flight demonstrated that a safe nitrogen pressure was achieved. The difference between the actual and safe heights was only 107.9 m, which is acceptable.

This experiment demonstrated the practical significance of desaturation during VDB and became the basis for further research focused on the relationship between flight safety, time, and altitude of desaturation application. Thus, the developed model is an effective tool for predicting VDB and can be used in flight planning. Oxygen desaturation is the most effective way to reduce the risk, but it requires optimization in terms of time and altitude of application. Adjusting the altitude of depressurization is useful, but it does not replace full-fledged desaturation. Research prospects include:

- taking into account the individual physiological characteristics of parachutists;
- developing automated systems for real-time monitoring of decompression.

The research results have revealed the physiological conditions that contribute to the occurrence of VDB in parachutists, which depend on safe levels of pressure and altitude. An important achievement of the work is the creation and validation of a model for predicting the risk of VDB, which can serve as a basis for developing

methodological and algorithmic approaches to analyzing decompression safety. The model significantly contributes to ensuring the safety of high-altitude jumps and allows not only to predict risks but also to optimize flight modes, which is particularly important for military and rescue operations. The parameters obtained during the computational experiments open up opportunities for further study and justification of medical and technical requirements for high-altitude skydiving, taking into account the physiological aspects that affect flight safety. Further research can be focused on integrating the model into real-time systems and developing personalized recommendations.

ЗНАЧИМОСТЬ ОПОРНОЙ АФФЕРЕНТАЦИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗРИТЕЛЬНО-ДВИГАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Глаголева С.О.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

svetlana.glagoleva7@gmail.com

Зрительно-моторные задачи (ЗМЗ) составляют основу операторской деятельности космонавтов и состоят в выполнении точных движений руками при зрительном контроле. Условия космического полета (КП), такие как микрогравитация и гипокинезия, изменяют сенсорные сигналы, снижая эффективность ЗМЗ. «Сухая» иммерсия (СИ) моделирует эти условия, позволяя изучать влияние опорной разгрузки на моторный контроль. Механическая стимуляция опорных зон стоп в статическом режиме, напротив, может компенсировать дефицит сенсорной обратной связи. Цель исследования — оценить влияние 14-суточной СИ и механической стимуляции стоп на временные и точностные параметры ЗМЗ. Задачи: изучить динамику ЗМЗ в СИ, оценить эффект стимуляции и выявить адаптивные изменения. Актуальность обусловлена сложностью ЗМЗ, требующей интеграции зрительных, проприоцептивных и вестибулярных сигналов в задней теменной коре (PPC) и других нейрональных структурах. Нарушения сенсорной интеграции в КП могут снижать точность движений, что требует разработки контрмер, таких как механическая стимуляция.

Введение. Нейрофизиология ЗМЗ включает восприятие зрительного стимула, обработку сенсорных сигналов, планирование и коррекцию движений. Задняя теменная кора (PPC) интегрирует зрительные и проприоцептивные сигналы, а моторная кора и мозжечок обеспечивают точность движений (Бадаква, 2020). Опорная афферентация от механорецепторов стоп играет важную роль в сенсомоторной интеграции, влияя на планирование движений (Navasiolava, 2011; Sayenko, 2005; Бадаква, 2019). Микрогравитация нарушает проприоцептивные и вестибулярные сигналы, что снижает эффективность ЗМЗ. Исследования показывают увеличение времени реакции и снижение точности в первые дни СИ, с последующей адаптацией (Миллер, 2024). Это связано с изменениями в PPC и сенсомоторной коре. Механическая стимуляция стоп активирует соматосенсорную кору и дополнительную моторную область (SMA) (Кремнева, 2012), что может служить предпосылкой для улучшения качества моторного контроля в условиях статической механической стимуляции опорных зон стоп. Динамическая стимуляция, имитирующая ходьбу, показала эффективность в СИ, тогда как статический режим изучен недостаточно.

Материалы и методы. Исследование проводили с участием четырех здоровых испытуемых (мужчины, 25–35 лет) в условиях 14-суточной СИ. ЗМЗ заключалась в перемещении курсора джойстиком к мишеням из центра экрана. Мишени предъявляли в случайном порядке в одном из четырех направлений от стартовой позиции курсора (вверх, вниз, налево, направо). Данное исследование включает получение временных параметров выполнения ЗМЗ (время реакции на появление мишени, время движения курсора), которые отражают скорость сенсорной обработки в PPC, а точностные параметры (длина траектории перемещения курсора, степень искривленности траектории) – качество коррекции движений, зависящей от проприоцепции.

Тестирование проводили в фоновом периоде (до СИ), в 1, 6, 9, 13-е сутки СИ и через 7 дней после СИ. Механическую стимуляцию стоп (20 кПа) осуществляли аппаратом «Корвит» в статическом режиме в течение 6 минут во время теста. Данные обрабатывали с использованием непараметрических методов (тест Уилкоксона с поправкой Бонферрони ($p < 0.05$)).

Результаты. В первые сутки СИ наблюдалось увеличение временных параметров ЗМЗ. Время реакции на предъявление мишени увеличилось на 15–20 %, время движения – на 10–15 %. К 6–9 суткам СИ параметры возвращались к исходным значениям, что указывает на адаптацию систем управления движением к условиям безопорности. Точностные параметры (длина и кривизна траектории) оставались стабильными.

Механическая стимуляция не вызвала значимых изменений ни во временных, ни в точностных параметрах, хотя отмечено незначительное увеличение времени движения курсора.

Обсуждение. Увеличение времени реакции в первые сутки СИ согласуется с предыдущими исследованиями (Миллер, 2024), в которых отмечено снижение эффективности ЗМЗ из-за опорной разгрузки. Это связано с нарушением мультисенсорной интеграции в РРС из-за дефицита проприоцептивных сигналов (Бадаква, 2023). Адаптация к 6–9 суткам воздействия подтверждает выводы (Van Ombergen, 2017) о пластичности ЦНС, компенсирующей сенсорный дефицит за счет зрительной обратной связи. Стабильность точностных параметров соответствует закону Фиттса, объясняющему снижение скоростных характеристик ЗМЗ выбором испытуемым стратегии сохранения точности движения.

Отсутствие значимого эффекта механической стимуляции может быть связано с недостаточной активацией соматосенсорной коры в статическом режиме. В отличие от динамической стимуляции, статический режим не имитирует естественную ходьбу, что снижает его эффективность. Кратковременная экспозиция (6 минут) также могла быть недостаточной для изменения процессов сенсомоторной интеграции. Вариабельность данных и малый размер выборки (n = 4) ограничивают значимость результатов.

Заключение. Исследование подтвердило, что опорная разгрузка в СИ увеличивает временные параметры ЗМЗ в первые сутки, с последующей адаптацией к 6–9 суткам. Воздействие механической стимуляции стоп в статическом режиме не влияет на параметры ЗМЗ. Малый размер выборки ограничивает статистическую значимость. Результаты подтверждают сложность ЗМЗ и ее чувствительность к опорной разгрузке, подчеркивая роль проприоцептивной обратной связи. Для практического применения в космической медицине необходимы исследования динамической стимуляции и ее влияния на контроль выполнения точностных движений. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации средств профилактики для космонавтов.

№ FMFR-2024-0033.

THE IMPORTANCE OF SUPPORT AFFERENCE IN PERFORMING VISUO-MOTOR TASKS

Glagoleva S.O.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

svetlana.glagoleva7@gmail.com

Visuo-motor tasks (VMT) form the basis of astronauts' operational activities and consist of performing precise movements with their hands under visual control. Space flight conditions, such as microgravity and hypokinesia, alter sensory signals, reducing the effectiveness of VMT. Dry immersion (DI) simulates these conditions, allowing the study of the effect of weightlessness on motor control. Mechanical stimulation of the support zones of the feet in a static mode, on the contrary, can compensate for the deficit of sensory feedback. The aim of the study is to evaluate the effect of 14-day DI and mechanical stimulation of the feet on the temporal and accuracy parameters of MIM. Objectives: to study the dynamics of VMT in DI, to evaluate the effect of stimulation, and to identify adaptive changes. The relevance is due to the complexity of VMT, which requires the integration of visual, proprioceptive, and vestibular signals in the posterior parietal cortex (PPC) and other neural structures. Sensory integration disorders in space flight can reduce movement accuracy, requiring the development of countermeasures such as mechanical stimulation.

Introduction. The neurophysiology of VMT includes the perception of visual stimuli, the processing of sensory signals, and the planning and correction of movements. The posterior parietal cortex (PPC) integrates visual and proprioceptive signals, while the motor cortex and cerebellum ensure the accuracy of movements (Badakva, 2020). Support afferentation from plantar mechanoreceptors plays an important role in sensorimotor integration, influencing movement planning (Navasiolava, 2011; Sayenko, 2005; Badakva, 2019). Microgravity impairs proprioceptive and vestibular signals, reducing the effectiveness of VMT. In the first days of dry immersion (DI), research demonstrates increased reaction time and reduced motor accuracy, followed by sensorimotor adaptation (Miller, 2024). This is associated with changes in the PPC and sensorimotor cortex. Mechanical stimulation of soles of the feet activates the somatosensory cortex and supplementary motor area (SMA) (Kremneva, 2012), which may serve as a precondition for improving motor control quality under conditions of static mechanical stimulation of the support zones of the feet. Dynamic stimulation that imitates walking has shown effectiveness in DI, while the static mode has not been sufficiently studied.

Materials and methods. The study was conducted with four healthy volunteers (male, aged 25–35 years) during a 14-day DI. The VMT consisted of moving the cursor with a joystick to targets from the center of the

screen. The targets were presented in random order in one of four directions from the starting position of the cursor (up, down, left, right). This study includes obtaining temporal parameters of VMT performance (reaction time to target appearance, cursor movement time), which reflect the speed of sensory processing in the PPC, and accuracy parameters (cursor movement trajectory length, trajectory curvature degree) – the quality of movement correction depending on proprioception.

Testing was performed during the baseline period (before DI), on days 1, 6, 9, and 13 of DI, and 7 days after DI. Mechanical stimulation of the feet (20 kPa) was performed using the Corvit device in static mode for 6 minutes during the test. The data were processed using nonparametric methods (Wilcoxon test with Bonferroni correction ($p < 0.05$)).

Results. During the first day of DI, an increase in the temporal parameters of VMT was observed. The reaction time to target presentation increased by 15–20 %, and movement time increased by 10–15 %. By days 6–9 of DI, the parameters returned to their initial values, indicating adaptation of the movement control systems to weightlessness conditions. Accuracy parameters (trajectory length and curvature) remained stable. Mechanical stimulation did not cause significant changes in either temporal or accuracy parameters, although a slight increase in cursor movement time was noted.

Discussion. The increase in reaction time during the first day of DI is consistent with previous studies (Miller, 2024), which noted a decrease in the effectiveness of VMT due to support unloading. This is associated with impaired multisensory integration in the PPC due to a deficit of proprioceptive signals (Badaqua, 2023). Adaptation to 6–9 days of exposure confirms the conclusions (Van Ombergen, 2017) about the plasticity of the central nervous system, which compensates for sensory deficits through visual feedback. The stability of accuracy parameters corresponds to Fitts' law, which explains the decrease in speed characteristics of the VMT by the test subjects' choice of a strategy to maintain movement accuracy.

The lack of a significant effect of mechanical stimulation may be due to insufficient activation of the somatosensory cortex in static mode. Unlike dynamic stimulation, static mode does not imitate natural walking, which reduces its effectiveness. Short-term exposure (6 minutes) may also have been insufficient to alter sensorimotor integration processes. Data variability and small sample size ($n = 4$) limit the significance of the results.

Conclusion. The study confirmed that unloading in DI increases the temporal parameters of VMT in the first day, with subsequent adaptation to 6–9 days. The effect of mechanical stimulation of the feet in static mode does not affect the parameters of VMT. The small sample size limits statistical significance. The results confirm the complexity of VMT and its sensitivity to weightlessness, emphasizing the role of proprioceptive feedback. In order to apply this to space medicine, more research is needed on dynamic stimulation and its effect on precise movement control. This data can then be used to optimize preventive measures for astronauts.

№ FMFR-2024-0033.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПРОБИОТИЧЕСКИХ БАКТЕРИЙ

Головнева Н.А.[1], Морозова А.Н.[1], Рябая Н.Е.[1], Будевич А.И.[2], Ермолицкий В.Н.[2], Морозова Ю.А.[3], Смирнов Ю.И.[3], Усанова Н.А.[3], Ильин В.К.[3]

[1]Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь
[2]Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству, Жодино, Беларусь
[3]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

biochem_lab@mbio.bas-net.by

В условиях космического полета важнейшей составляющей поддержания здоровья космонавтов является состояние кожной и кишечной микробиоты. Помимо рационального и сбалансированного питания, гигиенических процедур, фактором защиты организма человека в экстремальной среде его пребывания являются биологические препараты, обладающие полифункциональным, корригирующим действием. К таким субстанциям относятся пробиотики, прежде всего на основе безопасных молочнокислых бактерий и бифидобактерий, а также лактоферрин – важнейший компонент врожденного иммунитета организма человека, обладающий антибактериальными, противовирусными, иммуномодулирующими, регенеративными свойствами. Результаты исследований в области космической и экстремальной медицины показали эффективность пробиотиков в профилактике дисбаланса микробиоты у космонавтов в сложных условиях

обитания и предотвращении инфекционно-воспалительных процессов, вызываемых условно-патогенными микроорганизмами.

Для поддержания нормальной микробиоты кожи, кишечника и слизистых оболочек космонавтов актуален отбор пробиотических бактерий, способных обеспечить колонизационную резистентность организма хозяина по отношению к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам.

В 2024 г. ученые России (Институт медико-биологических проблем РАН) и Беларуси (Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству и Институт микробиологии НАН Беларуси») приняли участие в научной программе космического полета М. Василевской. В рамках программы выполнена серия экспериментов на Земле и в Космическом пространстве с целью создания комбинированного препарата на основе пробиотических молочнокислых бактерий, бифидобактерий и биоаналога лактоферрина человека (чЛФ), который в перспективе планируется использовать для оздоровления космонавтов как на этапах подготовки к полету, так и при нахождении на орбите и послеполетной реабилитации.

Для комбинированного препарата отобраны штаммы бифидобактерий *Bifidobacterium longum* БИМ В-813 Д и молочнокислых бактерий *Lactiplantibacillus plantarum* БИМ В-1824 Д, депонированные в Белорусской коллекции непатогенных микроорганизмов Института микробиологии НАН Беларуси. Отобранные бактерии характеризуются высокой антагонистической и адгезивной активностью, продукцией гликозил-гидролаз гидролитического и трансгликозилирующего действия. Бактерии безопасны, являются непатогенными и безвредными, не обладают токсичностью, аллергенностью и токсигенными свойствами, не являются генетически модифицированными.

В экспериментах использовались лиофилизированные культуры бактерий, восстановление которых проводилось идентично и параллельно по времени в космических и контрольных наземных условиях.

В исследуемых образцах определялось количество жизнеспособных клеток бактерий, морфология культур, способность их к адгезии, антагонистическая активность как отдельных пробиотических штаммов, так и комплексного препарата, ферментативная активность α- и β-галактозидаз (согласно модифицированному методу Миллера).

В результате после воздействия условий космического полета отмечено изменение морфологии колоний бактерий: у бифидобактерий выявлено уменьшение размера колоний по сравнению с контролем; молочнокислые бактерии формировали колонии неоднородной морфологии, диаметром в диапазоне 1–4 мм, и проявляли тенденцию к пристеночному росту. При культивировании исследуемых космических образцов бактерий в полуагаризованной питательной среде MRS наблюдалась нехарактерная локализация колоний в отдельной зоне в виде кольца шириной около 10–15 мм на расстоянии 10–12 мм от поверхности. При микроскопировании бифидобактерий отмечено наличие искривленных палочек с терминальной бифуркацией и булавовидными расширениями на концах. Последующие пересевы позволили восстановить культурально-морфологические признаки физиологически активных культур. Идентичность выделенных из космических образцов колоний бактерий *B. longum* и *Lpb. plantarum* подтверждена результатами MALDI TOF масс-спектрометрии.

В комплексном образце, включающем бифидобактерии, молочнокислые бактерии и лактоферрин, восстановленном в условиях полета, показатель жизнеспособности бактерий после полета составил 3,4 ± 1,2 × 109, в контрольном варианте в наземных условиях –1,6 ± 0,9 × 1011 КОЕ/мл. Жизнеспособность бактерий в комплексном образце, включающем лиофилизированные клетки бифидобактерий, молочнокислых бактерий и чЛФ, который хранился в сухой форме на орбитальной станции, после полета составила 2,5 ± 1,5 × 108 КОЕ/г, в наземном контроле составило 9,4 ± 0,5 × 109 КОЕ/г. В лиофилизированных космическом и лабораторном образцах также установлена гидролитическая активность α- и β-галактозидаз. Активность ферментов в этом образце соответствовала показателям контрольного варианта: β-галактозидазная активность после полета составила 183 500 ± 43 000 ед., в контрольном варианте – 188 100 ± 25 000 ед; α-галактозидазная – 17 300 ± 750 и 25 200 ± 500 ед. активности, соответственно.

Для оценки антимикробной активности исследуемых образцов использовались тест-культуры *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, Streptococcus warneri, *Listeria monocytogenes, Salmonella dublin*, *E. coli*. Антагонизм определяли общепринятым методом при культивировании бактерий в агаризованных питательных средах (метод лунок). В экспериментах использовались культуры I генерации бактерий *B. longum* БИМ В-813 Д и *Lpb. plantarum* БИМ В-1824 Д и образцы, восстановленные на орбитальной станции. После 24 ч инкубирования выявлены зоны ингибирования тест-культур диаметром от 11 до 30 мм. Наиболее выраженная антимикробная активность в этих условиях установлена у молочнокислых бактерий *Lpb. plantarum* БИМ В-1824 Д. Через трое суток показано отсутствие вторичного бактериального роста *K. pneumoniae*, *Stph. warneri* и *L. monocytogenes* в зонах ингибирования. Антимикробный эффект наиболее выражен как отдельно у культуры Lpb. plantarum БИМ В-1824 Д, так и в комплексном препарате, включающем *Lpb. plantarum* БИМ В-1824 Д, *B. longum* БИМ В-813 Д и чЛФ.

Исследование адгезивных свойств бифидобактерий и молочнокислых бактерий в 96-луночных микропланшетах из полистирола показало, что способность клеток бактерий к адгезии после полета в космос была на 50 % выше, чем у образцов на Земле.

Таким образом, установленные высокие показатели сохранности, физиолого-биохимической и функциональной активности пробиотических бактерий *B. longum* БИМ В-813 Д и *Lpb. plantarum* БИМ В-1824 Д и комплексного препарата с чЛФ свидетельствуют о перспективности дальнейшего их использования в разработке различных средств биологической защиты организма человека в условиях космического полета.

Договор от 08.12.2023 №1/35.2-2023 «Научно-техническое обеспечение космической деятельности», проекта «Разработать технологию получения комбинированного препарата, включающего лактоферрин и пробиотики, для использования в условиях гравитации и космического полета».

INFLUENCE OF SPACE FLIGHT CONDITIONS ON THE PHYSIOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF PROBIOTIC BACTERIA

Golovnyova N.A.[1], Morozova A.N.[1], Ryabaya N.E.[1], Budevich A.I.[2], Ermolitsky V.N.[2], Morozova Yu.A.[3], Smirnov Yu.I.[3], Usanova N.A.[3], Ilyin V.K.[3]

[1]Institute of Microbiology, NAS of Belarus, Minsk, Belarus
[2]Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, Zhodino, Belarus
[3]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

biochem_lab@mbio.bas-net.by

Under the conditions of space flight, an important factor in maintaining the health of astronauts is the state of the skin and intestinal microbiota. In addition to the rational and balanced diet, hygienic procedures, biological preparations with a multifunctional, corrective effect are a factor in protecting the human body under extreme conditions. Such substances include probiotics, primarily based on safe lactic acid bacteria and bifidobacteria, as well as lactoferrin, an essential component of the congenital immunity of the human body, which shows antibacterial, antiviral, immunomodulatory, and regenerative properties. The results of research in the field of space and extreme medicine have demonstrated the effectiveness of probiotics in preventing microbiota disbalance in astronauts and preventing infectious and inflammatory processes caused by opportunistic microorganisms.

To maintain the normal microbiota of the skin, intestines, and mucous membranes of astronauts, it is important to select probiotic bacteria capable of providing colonization resistance of the host organism toward pathogenic and opportunistic microorganisms.

In 2024, scientists from Russia (Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences) and Belarus (Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Animal Husbandry and Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus) participated in the scientific program of Mr. Vasilevskaya space flight. Within the framework the program, a series of experiments was performed on Earth and in Outer Space in order to develop a combined drug based on probiotic lactic acid bacteria, bifidobacteria and the analog of human lactoferrin (hLF), which in the future can be used to improve the health of astronauts both at the stages of preparation for flight, and during in-orbit and post-flight rehabilitation.

For the combined preparation, strains of *Bifidobacterium longum* BIM B-813 D and lactic acid bacteria *Lactiplantibacillus plantarum* BIM B-1824 D, deposited in the Belarusian Collection of Nonpathogenic Microorganisms of the Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, were selected. The selected strains are characterized by high antagonistic and adhesive activity, production of glycosyl hydrolases with hydrolytic and transglycosylating effects. The bacteria are safe, non-pathogenic and harmless, display no toxicity, allergenic or toxigenic properties, and are not genetically modified.

Lyophilized bacterial cultures were used in the experiments, they were restored identically and parallel in time under space and control ground conditions.

In the studied samples, the number of viable bacterial cells, was counted the morphology of cultures, the ability to adhere were studied, the antagonistic activity of both individual probiotic strains and a complex preparation, and the enzymatic activity of α- and β-galactosidases (according to the Miller method were compared).

After exposure to space flight conditions, a change in the morphology of bacterial colonies was noted: bifidobacteria showed a decrease in colony size compared to the control; lactic acid bacteria formed colonies of heterogeneous morphology, with a diameter in the range of 1-4 mm, and showed a tendency to wall oriented

growth. When cultivating the studied bacterial samples in a semi-agarized MRS nutrient medium, an atypical localization of colonies in a separate zone in the form of a ring about 10–15 mm wide at a distance of 10–12 mm from the surface was observed. Microscopy of bifidobacteria revealed the presence of curved rods with terminal bifurcation and club-shaped extensions at the ends. Subsequent transfers made it possible to restore the cultural and morphological features of physiologically active strains. The identity of the bacterial colonies *B. longum* and *Lpb. plantarum* isolated from space samples was confirmed by the results of MALDI TOF mass spectrometry.

In the complex sample, including bifidobacteria, lactic acid bacteria and hLF, restored under flight conditions, the bacterial viability index was 3.4 ± 1.2 × 109, in the control variant under ground conditions – 1.6 ± 0.9 × 1011 CFU/ml. The viability of bacteria in a complex sample including lyophilized cells of bifidobacteria, lactic acid bacteria and hLF, which was stored in dry form in the orbital station, after flight was 2.5 ± 1.5 × 108 CFU/g, in the course of ground control recorded activity was 9.4 ± 0.5 × 109 CFU/g. The hydrolytic activity of α- and β-galactosidases has also been established in freeze-drived state in laboratory samples. The enzyme activity in these samples corresponds to the parameters of the control variant: β-galactosidase activity after flight was 183,500 ± 43,000 units, in the control variant – 188,100 ± 25,000 units; α-galactosidase activity – 17,300 ± 750 and 25,200 ± 500 of activity units, respectively.

To assess the antimicrobial activity of the studied samples, test cultures of *Klebsiella pneumoniae, Staphylococcus aureus, Streptococcus warneri, Listeria monocytogenes, Salmonella dublin* and *E. coli* were used. Antagonism was determined by the well method growth of during bacterial cultures on agar nutrient media. The experiments used cultures of the first generation of bacteria *B. longum* BIM B-813 D, *Lpb. plantarum* BIM B-1824 D and samples recovered in the orbital station. After 24 hours of incubation, zones of inhibition of test cultures with a diameter of 11 to 30 mm were revealed. The most pronounced antimicrobial activity under these conditions was found in lactic acid bacteria *Lpb. plantarum* BIM B-1824 D. After three days, the absence of secondary bacterial growth of *K. pneumoniae, Staph. warneri* and *L. monocytogenes* in the inhibition zones was shown. The antimicrobial effect is most pronounced both separately in the culture of *Lpb. plantarum* BIM B-1824 D, and in a complex preparation including *Lpb. plantarum* BIM B-1824 D, *B. longum* BIM B-813 D and hLF.

A study of the adhesive properties of bifidobacteria and lactic acid bacteria in 96-well microplates indicated that the ability of bacterial cells to adhere after space flight was 50 % higher than that of samples on the Earth.

Thus, preservation of physiological-biochemical and functional properties of probiotic bacteria *B. longum* B-813 D and *Lpb. plantarum* BIM B-1824 D as well as a complex biopreparation with hLF were demonstrated proving the attractive prospects for their utilization as biological control agents during space expeditions.

Agreement dated 08.12.2023 No. 1/35.2-2023 «Scientific and technical support of space activities», the project «To develop a technology for the production of a combined drug, including lactoferrin and probiotics, for use under gravity and space flight conditions».

МИНЕРАЛЬНЫЙ СТАТУС И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОСТНОЙ ТКАНИ В УСЛОВИЯХ ИЗОЛЯЦИИ В ГЕРМООБЪЕКТЕ (ПРОЕКТ SIRIUS)

Гордиенко К.В., Новиков В.Е., Сервули Е.А., Васильева Г.Ю.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

k.vl.gordienko@gmail.com

Целью настоящего исследования явилось изучение изменений костного минерального статуса и механические свойств скелета человека в условиях изоляции различной продолжительности в гермообъекте.

Исследование проведено в рамках проекта SIRIUS (2017-2024 гг.), который состоял из серии изоляционных экспериментов (SIRIUS-17, -19, -21, -23) разной продолжительности: 17, 120, 240 и 360 суток, соответственно.

Участниками экспериментов стали 23 волонтера (12 женщин и 11 мужчин) возрастом от 26 до 44 лет (медианный возраст – 33 года), массой от 47 до 104 кг (68) и ростом от 156 до 187 см (168).

Оценку минерального статуса производили методом двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии на серийных клинических денситометрах Lunar (SIRIUS 17, -19) и Hologic (SIRIUS 21, -23). Определяли минеральную плотность костной ткани (МПК) и содержание костных минералов (СКМ) поясничного отдела позвоночника (L1–L4) и проксимального эпифиза бедренной кости (суммарно; шейки бедра и большого

вертела, в частности). Результаты измерений, выполненных на денситометре Lunar приведены к стандарту Hologic на основе формул, рекомендованных последним.

Значимыми признавали только индивидуальные изменения, которые превышали точность, указанную для каждой области исследования.

Фоновые измерения проводили за 6-29 суток до изоляции (дважды для экипажа SIRIUS-23). После изоляции денситометрию выполняли на +0/+1 сутки (все миссии), +6/+7/+8 (SIRIUS-23/-19/-21), +14 (SIRIUS-21) и + 32 (SIRIUS-23).

Акустические характеристики костной ткани, ассоциированные с ее механическими свойствами, исследовали ежемесячно на периферическом ультрасонометре Lunar Achilles, для которого областью интереса является центральный участок пяточной кости.

Измеряли скорость распространения (speed of sound – SOS, м/с) и степень затухания частот (broadband ultrasound attenuation – BUA, дБ/мГц) звуковой волны по мере ее прохождения через пяточную кость, на их основе рассчитывали индекс жесткости (stiffness index – SI). С целью сглаживания случайных отклонений и повышения надежности конечного результата в рамках одной сессии проводили 10 повторных измерений, при сравнении этапов экспериментов использовали их среднее значение.

Сравнение групп проводили с помощью теста Фридмана с последующим апостериорным анализом Данна. Для учета множественных сравнений применяли метод Benjamini-Krieger-Yekutieli с целью контроля частоты ложных открытий (False Discovery Rate), установив порог значимости $\alpha = 0.05$.

Проведенный анализ выявил неоднородность реакций костной системы участников на факторы изоляции. Индивидуальные изменения МПК лежали в диапазоне от -7,6 до 4,0 (-0,7) % для поясничного отдела позвоночника, от -6,0 до 3,1 (0,0) % – для проксимального эпифиза бедренной кости суммарно, от -6,9 до 5,3 (0,0) % и от -9,7 до 4,0 (-1,9) % для большого вертела и шейки бедра, в частности.

Однонаправленное снижение СКМ наблюдалось в поясничном отделе позвоночника для экипажа SIRIUS-17 ($p = 0,156$: пять человек продемонстрировали снижение показателя, один — увеличение), в проксимальном эпифизе бедренной кости для SIRIUS-21 ($p = 0,023$), в шейке бедра – SIRIUS-19 и SIRIUS-23 ($p = 0,004$; $p = 0,010$). При этом минеральная составляющая поясничного отдела к концу изоляции выросла у 4 из 5 членов экипажа SIRIUS-21.

Индивидуальные изменения акустических характеристик также лежали в широком диапазон (BUA от -15,7 до 21,1 %, SOS от -5,4 до 6,1 %, SI от -21,4 до 17,8 %), но не демонстрировали выраженных тенденций ($p > 0,05$).

Полученные нами результаты подчеркивают важность индивидуального подхода к оценке состояния костной системы в экстремальных условиях изоляции и в ряде случаев подтверждают потенциальную угрозу потери костной массы.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований РАН по теме FMFR 2024 0039.

MINERAL STATUS AND MECHANICAL PROPERTIES OF BONE TISSUE UNDER ISOLATION IN HERMETICALLY CLOSED FACILITY (SIRIUS PROJECT)

Gordienko K.V., Novikov V.E., Servuli E.A., Vassilieva G.Yu.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

k.vl.gordienko@gmail.com

The aim of this study was to investigate changes in the bone mineral status and mechanical properties of the human skeleton during isolation of varying duration in a hermetically sealed environment.

This study was conducted within the framework of the SIRIUS project (2017-2024), consisting of a series of isolation experiments (SIRIUS-17, -19, -21, and -23) with respective durations of 17, 120, 240, and 360 days.

Participants included 23 volunteers (12 females and 11 males) ranging in age from 26 to 44 years old (median age: 33), weighing between 47 and 104 kg (68 kg), and with heights from 156 to 187 cm (168 cm).Bone mineral status was evaluated using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) on sequential clinical densitometers: Lunar (used in SIRIUS-17 and -19) and Hologic (used in SIRIUS-21 and -23). Bone Mineral Density (BMD) and Bone Mineral Content (BMC) were measured for the lumbar spine (L1–L4) and proximal femur (total hip, femoral neck, and greater trochanter). Measurements obtained on the Lunar device were converted to match the Hologic standard according to the manufacturer's recommendations.

Only individual changes exceeding the specific measurement precision for each body site were deemed statistically significant.

Baseline measurements took place 6-29 days prior to isolation (twice for the SIRIUS-23 mission). Post-isolation densitometry occurred immediately upon exit (+0/+1 day for all missions), then again at +6/+7/+8 days (SIRIUS-23, -19, -21), +14 days (SIRIUS-21), and finally at +32 days (SIRIUS-23 only). Acoustic characteristics related to bone tissue mechanics were monitored monthly using a Lunar Achilles peripheral ultrasonometer, focusing on the central region of the calcaneus. Sound velocity (SOS, m/s) and broadband ultrasound attenuation (BUA, dB/MHz) were recorded, along with the Stiffness Index (SI), derived from these measures. For higher reliability, ten consecutive readings per session were averaged. Group comparisons utilized the Friedman test, followed by Dunn's post hoc analysis. To adjust for multiple comparisons, we applied the Benjamini-Krieger-Yekutieli procedure to control the false discovery rate ($q = 0.05$).

Analysis showed heterogeneous responses among individuals regarding skeletal adaptation to isolation conditions. Changes in BMD varied widely across subjects: −7.6 % to +4.0 % (−0.7 %) for the lumbar spine, −6.0 % to +3.1 % (0.0 %) for the total proximal femur, −6.9% to +5.3 % (0.0%) for the greater trochanter, and −9.7 % to +4.0 % (−1.9%) for the femoral neck.

Decreases in BMC were noted in the lumbar spines of the SIRIUS-17 group ($p = 0.156$; five individuals experienced decreases, and one had an increase); in the total proximal femur for SIRIUS-21 ($p = 0.023$); and in the femoral neck for both SIRIUS-19 and SIRIUS-23 ($p = 0.004$; $p = 0.010$). Conversely, four out of five SIRIUS-21 crew members exhibited increases in the mineral content of their lumbar vertebrae by the conclusion of the experiment.

Changes in acoustic parameters such as Broadband Ultrasound Attenuation (BUA) and Speed of Sound (SOS) ranged broadly (BUA: −15.7 % to +21.1%; SOS: −5.4 % to +6.1 %; Stiffness Index (SI): −21.4 % to +17.8 %), though no clear trends emerged ($p > 0.05$).These findings underscore the necessity of personalized approaches to evaluating skeletal health in extreme isolation scenarios and provide evidence supporting concerns about bone loss risk in prolonged confinement situations.

The work was carried out within the framework of the fundamental scientific research program of the Russian Academy of Sciences, topic FMFR 2024 0039.

АДАПТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЧЕЛОВЕКА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА В УСЛОВИЯХ ИЗОЛЯЦИИ В НАЗЕМНОМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ИМБП

Грачева М.А.[1], Белокопытов А.В.[1], Казакова А.А.[1], Алескеров А.М.[2], Бараненков А.Е.[2], Кузнецова И.Н.[1]

[1]Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук (ИППИ РАН), Москва, Россия
[2]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

mg.iitp@gmail.com

Оценивали зрительные функции – остроту зрения (ОЗ), критическую частоту слияния мельканий (КЧСМ), аккомодацию и цветовосприятие у добровольцев (6 чел.), принявших участие в долговременном изоляционном эксперименте (1 год) в медико-техническом Наземном экспериментальном комплексе (НЭК) ИМБП РАН, оборудованным системой светодиодного освещения. Измерения были проведены один раз перед началом изоляции и два раза после окончания изоляции.

Для оценки ОЗ вблизи (0,5 м) и вдаль (4,0 м) использовали компьютерную программу «ТИП-ТОП» (Россия), измерение КЧСМ проводили на приборе КЧСМ-Ц (Россия) для красного цвета. Аккомодация оценивалась прибором Righton Speedy-i (Япония), а цветовосприятие – комплексом CAD (Великобритания).

ОЗ для дали не изменилась в ходе эксперимента ($F(1, 5) = 1{,}295$, $p = 0{,}307$). Оценка ОЗ для близи показала статистически значимые различия ($F(1, 5) = 15{,}486$, $p = 0{,}011$), после эксперимента ОЗ снизилась (до и после: 1,12 ± 0,091; 0,94 ± 0,056), что при индивидуальном экспертном анализе коррелировало с показателями аккомодограмм. Результат согласуется с данными, полученными в предыдущем 8-месячном изоляционном эксперименте.

По показателю КЧСМ было обнаружено статистически значимое повышение ($F(1,5) = 59.536$, $p < 0.001$; ср.знач. до и после – 44.29 ± 0.48; 51.06 ± 0.90 соответственно). Данный результат согласуется с изменениями показателя КЧСМ в предыдущих 4- и 8-месячном изоляционном экспериментах.

Оценка цветовосприятия не показала значимых изменений.

Заключение. Практическим применением результатов данного исследования может являться оценка уровня физиологических резервов зрительной системы в условиях изоляции с искусственным освещением и создания рекомендаций для сохранения зрительного здоровья и зрительной работоспособности испытателей.

Финансирование работы. Исследование выполнено при финансовой поддержке гос. задания ИМБП НИР РАН тема № FVFR-2024-0034 (1023022700092-0-3.1.4.;1.9; 5.1.1.) и гос. задания ИППИ РАН (НИОКТР Тема №1.2.1-0028/24, регистрационный номер 1021061609839-4-1.2.1;1.6.23 от 18 апреля 2023 г.).

ADAPTATION PROCESSES IN THE HUMAN VISUAL SYSTEM IN MODELING SPACE FLIGHT FACTORS IN ISOLATION CONDITIONS AT THE IMBP'S GROUND-BASED EXPERIMENTAL FACILITY

Gracheva M.A.[1], Belokopytov A.V.[1], Kazakova A.A.[1], Aleskerov A.M.[2], Baranenkov A.E.[2], Kuznetsova I.N.[1]

[1]Institute for Information Transmission Problems (Kharkevich institute) of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

mg.iitp@gmail.com

The visual functions – visual acuity (VA), critical flicker fusion frequency (CFFF), accommodation, and color perception were assessed in volunteers (6 people) who took part in a long-term isolation experiment (1 year) in the IBMP's Ground-based Experimental Facility, equipped with a LED lighting system. Measurements were taken once before the start of isolation and twice after the end of isolation.

To assess near (0.5 m) and far (4.0 m) VA acuity, the TIP-TOP computer program (Russia) was used; the CFFF measurement was performed on the KCHSM-C device (Russia) for red color. Accommodation was assessed by the Righton Speedy-i device (Japan), and color perception was assessed by the CAD complex (Great Britain).

The far VA did not change during the experiment ($F(1, 5) = 1.295$, $p = 0.307$). The assessment of near VA showed statistically significant differences ($F(1, 5) = 15.486$, $p = 0.011$), after the experiment, near VA decreased (before and after: 1,12 ± 0,091; 0,94 ± 0,056), this correlated with the indicators of accommodation in the individual expert analysis. The result is consistent with the data obtained in the previous 8-month isolation experiment.

A statistically significant increase was found in the CFFF ($F(1.5) = 59.536$, $p < 0.001$; mean values before and after – 44.29 ± 0.48; 51.06 ± 0.90, respectively). This result is consistent with the changes in the CFFF in the previous 4- and 8-month isolation experiments. The assessment of color perception did not show significant changes.

Conclusion. The practical application of the results of this study can be the assessment of the level of physiological reserves of the visual system in conditions of isolation with artificial lighting and the creation of recommendations for maintaining the visual health and visual performance of test subjects.

Financing the work. The study was carried out with the financial support of the state assignment of the IMBP Research Institute of the Russian Academy of Sciences topic no. FVFR-2024-0034 (1023022700092-0-3.1.4.;1.9; 5.1.1.) and the state assignment of the IITP RAS (R&D Topic No.1.2.1-0028/24, registration number 1021061609839-4-1.2.1;1.6.23 dated April 18, 2023).

ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ КАК СПОСОБ КОНТРОЛЯ И ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЭКИПАЖА В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПЕРЕЛЕТА

Громыко М.В.

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

mikhailgromyko@mail.ru

Аннотация. В последние годы технологии виртуальной реальности (ВР) становятся все более актуальными в различных сферах человеческой деятельности, включая космонавтику. Данная работа посвящена исследованию возможностей применения ВР для контроля и повышения функционального состояния кос-

монавтов в условиях длительных космических перелетов. Виртуальная реальность может служить мощным инструментом для симуляции различных сценариев, включая психологическую подготовку, стресс-менеджмент и восстановительные процедуры.

Ключевые слова: космос, космический полет, физиология, психофизиология, экстремальное состояние, восстановление.

Известно, что длительные космические экспедиции представляют собой серьезный вызов как для физического, так и для психического состояния экипажа. В целом можно выделить несколько основных психофизиологических проблем, с которыми сталкиваются космонавты:

- это воздействие микрогравитации на организм;
- длительное пребывание в замкнутом пространстве и отсутствие естественных циклов дня и ночи могут вызывать серьезные нарушения сна и биоритмов;
- факторы одиночества и изоляции, на длительных миссиях космонавты остаются в ограниченном окружении, часто с одним и тем же кружком коллег, что может вызвать межличностные конфликты и стресс, отсутствие возможности общения с семьей и друзьями усугубляет чувство одиночества и может приводить к развитию тревожных и депрессивных состояний;
- Необходимо также учитывать влияние радиации на здоровье космонавтов данный фактор может влиять и на психическое состояние, повышая уровень стресса и тревожности.

Все эти условия суммано оказывают негативное влияние на общее состояние организма экипажа, угнетают центральную/ периферическую нервную систему и понижают трудоспособность космонавтов в экспедиционный период, а так же замедляют время восстановления.

В связи с вышеизложенной проблемой мы предлагаем метод технологии виртуальной реальности (VR) для стабилизации психофизиологического состояния человека.

Экипаж может использовать общение с аватарами семьи и близких людей в знакомой обстановке, VR для участия в виртуальных упражнениях или нахождения в успокаивающих природных средах, что может повысить функциональное состояние, мотивацию и улучшить общее качество жизни.

Одним из направлений использования VR в космосе является создание виртуальных пространств, которые могут имитировать знакомую земную среду, посредством иммерсивных VR-систем космонавты могут «посетить» красивые пейзажи, такие как пляжи, леса или горные вершины, находясь в ограниченном пространстве, это может способствовать снижению уровеня стресса и улучшить общее психоэмоциональное состояние. Кроме того, такая технология может использоваться для создания динамической симуляции циклов дня и ночи, что способствует нормализации сна, эффект смены дня и ночи крайне важен для поддержания биоритмов, которые могут нарушаться в условиях микрогравитации и отсутствия привычных смен дня и ночи.

Так же VR возможно применять образовании и обучении имитации различных ситуаций, возможность практиковаться в контролируемых условиях помогает повысить уверенность и снизить тревогу перед реальными ситуация. Данный метод особенно становится актуален при длительных перелетах, т.к возможные новые открывшиеся обстоятельства не имеется возможность отработки возможных вопросов в наземных условиях.

Так же технологии VR открывают новые возможности для исследования функционального состояния в настоящем времени, что позволит получать большой объем данных и даст новые возможности для исследования физиологии и психофизиологии космонавтов, особенно на первых длительных перелетах. Так же появляется возможность интегрировать различные методы оценки психофизиологического состояния, такие как регистрация сердечного ритма, уровня стресса и даже показателей мозговой активности. С помощью носимых датчиков информацию о физиологических показателях экипажа можно синхронизировать с их действиями и действиями в виртуальной среде. Это дает возможность исследовать корреляции между физическими реакциями и психологическим состоянием в реальном времени, что может быть крайне полезно для управления нагрузкой и обеспечения безопасности. Появляется возможность использование VR в тренингах для экипажей позволяет выявлять ключевые элементы, способствующие успешной работе в команде. Параллельно с оценкой индивидуальных реакций членов экипажа на стрессовые ситуации, можно анализировать и командную динамику, что также значительно влияет на общую эффективность работы. Экипажи могут быть обучены улучшать свои навыки коммуникации и координации действий, что в конечном итоге влияет на их способность справляться с сложными ситуациями.

Наконец, важно отметить, что технологии виртуальной реальности имеют и свои недостатки, например они могут быть неэффективны для всех категорий эипажа и иногда могут вызывать негативные реакции, такие как тошнота или дискомфорт. Поэтому крайне важно, чтобы использование VR осуществлялось квалифицированными специалистами и соответствовало индивидуальным потребностям каждого человека.

В целом, все эти факторы приводят к необходимости разработки новых адекватных методов поддержки психофизиологического состояния экипажа на долгосрочных космических миссиях, включающих в себя как физическую подготовку, так и психологическую поддержку, создание условий для общения и возможность для расслабления и отдыха.

Заключение. Можно сказать, что технологии виртуальной реальности открывают новые горизонты в области психофизиологии и психоэмоциональной регуляции, предоставляя инновационные подходы к изучению и поддержке функционального состояния человека.

Создать комфортную околоземную среду для космонавтов, но и предоставляют мощные средства поддержки, обучения и повышения общей эффективности работы в условиях космических перелетов. С их помощью специалисты могут более эффективно справляться с различными психическими вызовами, обеспечивая пользователям почувствовать себя более комфортно и уверенно в условиях длительных полетов вне привычной земной среды. Интеграция VR в космические программы может стать одним из важнейших шагов в обеспечении долголетия и здоровья астронавтов, открывая новые горизонты для исследовательской деятельности в космосе.

VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES AS A WAY TO CONTROL AND IMPROVE THE FUNCTIONAL STATE OF THE CREW DURING LONG-TERM SPACE FLIGHTS

Gromyko M.V.

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

mikhailgromyko@mail.ru

Abstract. In recent years, virtual reality (VR) technologies have become increasingly relevant in various areas of human activity, including astronautics. This work is devoted to the study of the possibilities of using VR to monitor and improve the functional state of astronauts during long-term space flights. Virtual reality can serve as a powerful tool for simulating various scenarios, including psychological training, stress management and recovery procedures.

Keywords: space, space flight, physiology, psychophysiology, extreme condition, recovery.

It is known that long-term space expeditions pose a serious challenge to both the physical and mental state of the crew. In general, several main psychophysiological problems that astronauts face can be identified:

• this is the effect of microgravity on the body; • long-term stay in a confined space and the absence of natural day and night cycles can cause serious sleep and biorhythm disturbances;

• factors of loneliness and isolation, on long missions astronauts remain in a limited environment, often with the same circle of colleagues, which can cause interpersonal conflicts and stress, the lack of opportunity to communicate with family and friends aggravates the feeling of loneliness and can lead to the development of anxiety and depression;

• It is also necessary to take into account the impact of radiation on the health of astronauts, this factor can also affect the mental state, increasing the level of stress and anxiety.

All these conditions together have a negative impact on the general condition of the crew, depress the central / peripheral nervous system and reduce the performance of astronauts during the expedition period, and also slow down the recovery time. In connection with the above problem, we propose a method of virtual reality (VR) technology to stabilize the psychophysiological state of a person.

The crew can use communication with avatars of family and loved ones in a familiar environment, VR to participate in virtual exercises or be in calming natural environments, which can improve functional status, motivation and improve the overall quality of life. One of the areas of use of VR in space is the creation of virtual spaces that can simulate a familiar earthly environment, through immersive VR systems astronauts can «visit» beautiful landscapes such as beaches, forests or mountain peaks, being in a limited space, this can help reduce stress levels and improve the overall psycho-emotional state. In addition, such technology can be used to create a dynamic simulation of day and night cycles, which helps normalize sleep, the effect of day and night change is extremely important for maintaining biorhythms, which can be disrupted in microgravity conditions and the absence of the usual day and night changes.

VR can also be used in education and training to simulate various situations, the ability to practice in controlled conditions helps to increase confidence and reduce anxiety before real situations. This method becomes especially relevant during long flights, since possible new circumstances that have opened up are not possible to work out possible issues in ground conditions. Also, VR technologies open up new opportunities for studying the functional

state in real time, which will allow obtaining a large amount of data and will provide new opportunities for studying the physiology and psychophysiology of astronauts, especially during the first long flights. It also becomes possible to integrate various methods for assessing the psychophysiological state, such as recording heart rate, stress levels, and even brain activity indicators. With the help of wearable sensors, information about the physiological indicators of the crew can be synchronized with their actions and actions in the virtual environment. This makes it possible to study the correlations between physical reactions and psychological state in real time, which can be extremely useful for load management and safety. It becomes possible to use VR in crew training to identify key elements that contribute to successful teamwork. In parallel to assessing the individual reactions of crew members to stressful situations, team dynamics can also be analyzed, which also significantly affects overall performance. Crews can be trained to improve their communication and coordination skills, which ultimately affects their ability to cope with difficult situations.

Finally, it is important to note that virtual reality technologies also have their drawbacks, for example, they may not be effective for all categories of crew and can sometimes cause negative reactions such as nausea or discomfort. Therefore, it is imperative that the use of VR is carried out by qualified specialists and with meets the individual needs of each person. In general, all these factors lead to the need to develop new adequate methods for supporting the psychophysiological state of the crew on long-term space missions, including both physical training and psychological support, creating conditions for communication and the opportunity for relaxation and rest.

Conclusion. It can be said that virtual reality technologies open up new horizons in the field of psychophysiology and psychoemotional regulation, providing innovative approaches to the study and support of the functional state of a person. Create a comfortable near-earth environment for astronauts, but also provide powerful tools for support, training and improving the overall efficiency of work in space flights. With their help, specialists can more effectively cope with various mental challenges, ensuring that users feel more comfortable and confident in long-term flights outside the usual terrestrial environment. The integration of VR into space programs can be one of the most important steps in ensuring the longevity and health of astronauts, opening up new horizons for research activities in space.

NAC ПРЕОДОЛЕВАЮТ ИНГИБИРОВАНИЕ РОСТА РАСТЕНИЙ, ВЫЗВАННОЕ СТРЕССОМ НИЗКОЙ ГРАВИТАЦИИ

Гульзия Токтау[1], Айдын Абилкас[2], Инцю Се[1]

[1]Кафедра биологии, Школа естественных и гуманитарных наук, Назарбаев Университет, Астана, Казахстан
[2]Кафедра химии, Школа естественных и гуманитарных наук, Назарбаев Университет, Астана, Казахстан

yingqiu.xie@nu.edu.kz

Было показано, что активные формы кислорода (АФК) являются опасными побочными продуктами метаболизма растений и вызывают окислительное повреждение растений при высокой концентрации. Однако АФК также регулируют рост и развитие растений в качестве сигнальных молекул при прорастании семян, развитии корней и побегов. Низкая гравитация может вызвать дисбаланс между выработкой и утилизацией АФК, что приводит к окислительному стрессу и повреждению роста и развития корней. NAC является ингибитором АФК. Мы стремимся проверить влияние NAC на повреждение растений, вызванное низкой гравитацией. Во-первых, мы обнаружили, что низкая гравитация, имитируемая плаванием семян растений в чашке, снижает всхожесть и рост корней фасоли. Во-вторых, обработка NAC с помощью стимуляции высокой гравитацией, вызванной центрифугированием, может преодолеть этот эффект. Таким образом, NAC будет использоваться в качестве усилителя роста растений в космосе

NAC OVERCOME LOW GRAVITY STRESS INDUCED PLANT GROWTH INHIBITION

Gulziya Toktau[1], Aidyn Abilkas[2], Yingqiu Xie[1]

[1]Department of Biology, School of Sciences and Humanities, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan
[2]Department of Chemistry, School of Sciences and Humanities, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan

yingqiu.xie@nu.edu.kz

Reactive Oxygen Species (ROS) has been shown to be a hazardous byproducts ofplant metabolism, and induce oxidative damage in plants at high concentration. However, ROS also regulates plant growth and development

as signaling molecules in seed germination, root and shoot development. Low gravity, may induce the imbalance between ROS production and scavenging, leading to oxidative stress and damage of root growth, and development. NAC is a ROS inhibitor. We aim to test the NAC effect on low gravity induced plant damage. First, we found low gravity simulated by floating of plant seeds in a dish reduced germination and root growth of mug bean. Second, the NAC treatment with centrifuge induced high gravity stimulation can overcome the effect. Thus, NAC would be used for space plant growth enhancer.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ И ЕЕ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ В НОЧНОЙ ПЕРИОД У ГЕНДЕРНО СМЕШАННОГО ЭКИПАЖА В УСЛОВИЯХ ГОДОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ГЕРМООБЪЕКТЕ

Демин А.В., Зарипов Р.Н.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

a_demin2005@mail.ru

Известно, что состояние сердечно-сосудистой системы у здоровых людей регулируется вегетативной нервной системой и зависит от суточных, сезонных и др. биоритмов. Однако показатели центральной гемодинамики и ее вегетативной регуляции в ночное время недостаточно изучены в условиях длительной изоляции от внешних геофизических факторов, таких как естественное освещение и температура, особенно у гендерно смешанных экипажей.

Цель исследования: изучить физиологические показатели центральной гемодинамики и ее вегетативной регуляции в ночной период у гендерно смешанного экипажа в условиях годовой изоляции в гермообъекте.

Исследование проводилось на гендерно смешанном экипаже в гермообъекте в течение годовой изоляции в рамках эксперимента SIRIUS-23. В ходе эксперимента у 6 практически здоровых добровольцев в ночной период в течение 8 часов непрерывно (на основе ЭКГ) регистрировали частоту сердечных сокращений (ЧСС) и гемооксигенацию. Регистрацию физиологических параметров у каждого добровольца осуществляли ежемесячно – 12 раз в течение года. Для регистрации физиологических показателей центральной гемодинамики использовали портативный прибор SOMNOtouch NIBP (SomnoMedics, Германия). Значения артериального давления для каждого сердечного цикла автоматически рассчитывалось с использованием специального математического алгоритма – на основе измерений времени прохождения пульсовой волны (РТТ), индивидуальных антропометрических данных добровольцев и калибровочных измерений артериального давления осциллометрическим тонометром. Вегетативный индекс Кердо (ВИК) вычисляли по формуле: ВИК = 1-(ДАД/ЧСС), где ЧСС – частота сердечных сокращений, ДАД – диастолическое артериальное давление.

Для оценки восстановления сердечно-сосудистой системы в ночной период использовали ранее предложенный способ на основе количественной оценки динамики ВИК (Демин А.В. с соавт., 2019, 2020, 2023). Временные ряды ВИК аппроксимировали полиномами второго порядка и находили временные координаты локальных минимумов. В результате анализа полученных результатов измерений установлено, что величина ВИК в ночной период преимущественно принимала значения меньшие или равные нулю. Кроме того, выявлено достоверное снижение величины ВИК в ходе годовой изоляции с достижением индивидуальных локальных минимумов преимущественно во второе полугодие изоляции (у 5 добровольцев) или в конце первого полугодия у 1 добровольца (168-е сутки).

Сделан вывод о том, что в условиях годовой изоляции в гермообъекте вегетативная регуляция сердечно-сосудистой системы у всего экипажа обратимо изменилась в направлении усиления вагусной модуляции центральной гемодинамики. Это означает улучшение восстановительных процессов в сердечно-сосудистой системе у добровольцев в ночной период, обусловленное изменением вегетативной регуляции в период с 168-х по 297-е сутки изоляции. Полученные результаты могут быть использованы при разработке методов медицинского контроля, планировании режимов труда и отдыха космонавтов в условиях длительной изоляции. По результатам исследований создана База данных физиологических показателей центральной гемодинамики в ночной период во время годовой изоляции.

FMFR-2024-0038, FMFR-2024-0039.

PHYSIOLOGICAL INDICATORS OF CENTRAL HEMODYNAMICS AND ITS AUTONOMIC REGULATION DURING THE NIGHT PERIOD IN A GENDER-MIXED CREW UNDER CONDITIONS OF ANNUAL ISOLATION IN A SEALED FACILITY

Demin A.V., Zaripov R.N.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

a_demin2005@mail.ru

It is known that the state of the cardiovascular system in healthy people is regulated by the autonomic nervous system and depends on daily, seasonal and others biorhythms. However, the indicators of central hemodynamics and its autonomic regulation at night have not been sufficiently studied in conditions of long-term isolation from external geophysical factors, such as natural light and temperature, especially in gender-mixed crews.

The aim of the research: to study the physiological parameters of central hemodynamics and its autonomic regulation during the night period in a gender-mixed crew under conditions of annual isolation in a hermetic facility.

The study was conducted on a gender-mixed crew in a sealed facility during a year of isolation as part of the SIRIUS-23 experiment. During the experiment, the heart rate (HR) and hemooxygenation of 6 practically healthy volunteers were continuously recorded (based on ECG) during the night for 8 hours. Physiological parameters of each volunteer were recorded monthly – 12 times during the year. A portable device SOMNOtouch NIBP (SomnoMedics, Germany) was used to record physiological parameters of central hemodynamics. The blood pressure values for each cardiac cycle were automatically calculated using a special mathematical algorithm - based on the pulse wave transit time (PTT) measurements, individual anthropometric data of the volunteers and calibration measurements of blood pressure with an oscillometric tonometer. The Kerdo autonomic index (KAI) was calculated using the formula: KAI = 1-(DBP/HR), where HR is the heart rate and DBP is the diastolic blood pressure.

To assess the recovery of the cardiovascular system at night, a previously proposed method was used based on a quantitative assessment of the dynamics of the KAI (Demin A.V. et al., 2019, 2020, 2023). The KAI time series were approximated by second-order polynomials and the time coordinates of local minima were found. Because of the analysis of the obtained measurement results, it was established that the value of the KAI during the night period predominantly took values less than or equal to zero. In addition, a reliable decrease in the value of the KAI was revealed during the annual isolation with the achievement of individual local minima mainly in the second half of the year of isolation (in 5 volunteers) or at the end of the first half of the year in 1 volunteer (MD-168).

It was concluded that under the conditions of a year-long isolation in a sealed facility, the autonomic regulation of the cardiovascular system in the entire crew reversibly changed in the direction of increasing vagal modulation of central hemodynamics. This means an improvement in the recovery processes in the cardiovascular system of volunteers during the night period, due to a change in autonomic regulation in the period from 168 to 297 days of isolation. The results obtained can be used in developing methods of medical monitoring, planning work and rest regimes for cosmonauts in conditions of long-term isolation. Based on the research results, a Database of physiological indicators of central hemodynamics during the night period during annual isolation was created.

FMFR-2024-0038, FMFR-2024-0039.

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНОГО ОБМЕНА У ГЕНДЕРНО СМЕШАННОГО ЭКИПАЖА В УСЛОВИЯХ ГОДОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ГЕРМООБЪЕКТЕ С ИСКУССТВЕННОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДОЙ

Демин А.В., Зарипов Р.Н., Васильева Г.Ю., Баранов В.М.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

a_demin2005@mail.ru

Определение уровня основного обмена (ОО) имеет важное прикладное значение для жизнеобеспечения космонавтов во время полетов в дальний космос (Баранов В.М., 1993; Smith et al. 2009, Демин А.В., Зарипов Р.Н., 2024, 2025). В модельных экспериментах на основе измерений ОО, дыхательного коэффициента и суточной экскреции азота, можно количественно оценить потребности в макронутриентах и

кислороде у экипажей за длительный период времени, сопоставимый с продолжительностью космической экспедиции (Илюшин Ю.С., Олизаров В.В., 1972; Шибанов Г.П., 2007). Увеличение продолжительности пребывания человека в условиях невесомости сопровождается усилением катаболических процессов, постепенным снижением многих метаболических реакций, обеспечивающих образование энергии в организме (Шибанов Г.П., 2007). Исследования основного обмена проводились в ходе модельных изоляционных и космических экспериментов, где были исследованы моногендерные экипажи, сформированные из добровольцев-мужчин. В настоящее время большинство космических полетов проходят с гендерно смешанными экипажами. Известно, что в естественных условиях от действия геофизических факторов происходят сезонные изменения ОО у человека, которые заключаются в повышении его уровня весной и ранним летом и понижении поздней осенью и зимой (Беркович Е.М., 1964; Слоним А.Д., 1971). Такие изменения ОО связаны не столько с температурным фактором, сколько с изменением двигательной активности и колебаниями гормональной деятельности организма в соответствии с биологическими ритмами (Голиков А.П., Голиков П.П., 1973, Макаров В.А., 1981). В этой связи, представляется актуальной задача количественной оценки уровня основного обмена и его сезонных изменений у гендерно смешанного экипажа в условиях длительной изоляции в модельных экспериментах.

Целью работы стал поиск закономерностей в динамике энерготрат у экипажа SIRIUS-23 в условиях годовой изоляции в герметичном объекте (Наземный экспериментальный комплекс – НЭК, ГНЦ РФ – ИМБП РАН) с искусственной газовой средой. Основная задача работы – периодическая оценка уровня ОО в течение 12 месяцев для выявления его сезонных изменений в условиях изоляции от действия сезонных геофизических факторов, таких как сезонные изменения освещения и температуры. Исследования проводили с помощью метаболографа Quark CPET (CosMed, Италия). В эксперименте принимали участие 2 мужчин и 4 женщины в возрасте от 25 до 37 лет. Программа исследований была одобрена комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 643 от 07.07.2023 г.) Исследование ОО у каждого испытуемого было выполнено дважды в фоне, 12 раз в течение изоляции и 1 раз в последействии. Период изоляции включал последовательно: 1 осенний месяц 2023 г., 3 сезона (зиму, весну и лето) 2024 г. и 2 осенних месяца 2024 г. Во время фоновых исследований члены экипажа ночевали в ГНЦ РФ – ИМБП РАН для проведения утренних измерений после 8-часового сна. При этом последний прием пищи у испытуемых завершался за 12 часов до исследования ОО. За 18 ч до проведения исследования в рационе питания минимизировали белок (Шмидт Р.Ф. с соавт., 2019). Дополнительно накануне исследования ОО проводили суточный сбор мочи для последующего определения азота в мочевине и оценки белковой квоты энерготрат. Мочевину в пробах суточной мочи определяли на модульной конфигурируемой биохимической платформе Cobas-6000 (Roche). В ночь перед исследованием ОО производили мониторинг сна с помощью портативного сомнологического прибора SomnoTouch NIBP (SomnoMedics, Германия) в целях контроля выполнения условий определения основного обмена.

Испытуемые были ознакомлены со всеми требованиями и условиями для корректного измерения ОО. Каждая сессия исследования газоэнергообмена занимала 20 минут. Параметры основного обмена измеряли методом дилюционной непрямой калориметрии с вентилируемым куполом в положении лежа в состоянии релаксации. Расчет энерготрат выполняли по формуле Вейра (1949).

Установлено обратимое снижение уровня удельного основного энергетического обмена у гендерно смешанного экипажа, находившегося в условиях годовой изоляции в гермообъекте с искусственной газовой средой. Годовой минимум базовых удельных энерготрат экипажа произошел на границе двух календарных сезонов: зимы и весны 2024 г., что подтверждает сохранение сезонного ритма энерготрат в условиях изоляции от действия сезонных геофизических факторов. Годовые удельные базовые энерготраты у всего экипажа (2 мужчин + 4 женщины) составили 49 700 ккал/кг массы тела за все 366 суток изоляции, что было на 5029 (8 %) ккал/кг меньше расчетной величины энерготрат для естественных условий внешней среды. Динамика удельной скорости окисления жиров у экипажа повторяла закономерность изменения величины удельных энерготрат. Это означает, что снижение и увеличение удельных энерготрат было обусловлено соответствующими изменениями метаболизма липидов.

По результатам исследований ОО в экспериментах SIRIUS-21 и SIRIUS-23 зарегистрированы базы данных показателей газоэнергообмена в условиях длительной изоляции (РИД № RU2025621524 от 3.04.2025 г. и № RU2025621558 от 7.04.2025 г.)

FMFR-2024-0038, FMFR-2024-0039, FMFR-2024-0042.

SEASONAL CHANGES IN THE BASAL METABOLIC RATE OF A GENDER-MIXED CREW IN CONDITIONS OF ANNUAL ISOLATION IN A HERMETIC OBJECT WITH AN ARTIFICIAL GAS ENVIRONMENT

Demin A.V., Zaripov R.N., Vasilyeva G.Yu., Baranov V.M.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

a_demin2005@mail.ru

Determining the level of basal metabolic rate (BMR) has an important practical value for life support of cosmonauts on long-term space missions (Baranov V.M., 1993; Smith et al. 2009, Demin A.V., Zaripov R.N., 2024, 2025). The measurements of BMR, respiratory coefficient and daily urea excretion can be used to quantitatively estimate macronutrient and oxygen requirements of long-term space mission crews (Ilyushin Yu.S., Olizarov V.V., 1972; Shibanov G.P., 2007). An increase in the duration of stay in weightlessness conditions is associated with an increase in catabolic processes and a gradual decrease in many metabolic reactions that provide energy production in the organism (Shibanov G.P., 2007). BMR studies were conducted in model isolation and space experiments, where monogendered crews formed of male volunteers were investigated. Currently, most space missions are with gender-mixed crews. It is known that in natural conditions of geophysical factors there are seasonal changes in human BMR, which consist in its increase in spring and early summer and decrease in late autumn and winter (Berkovich E.M., 1964; Slonim A.D., 1971). Similar changes of BMR connected not only with the temperature factor, but also with changes in motor activity and fluctuations of hormonal activity of an organism in accordance with biological rhythms (Golikov A.P., Golikov P.P., 1973, Makarov V.A., 1981). In this regard, the task of measuring the level of BMR and its seasonal changes in the gender-mixed crew under conditions of prolonged isolation in model experiments seems important. The aim of the work was to search for patterns in the energy expenditure dynamics of the SIRIUS-23 crew under conditions of annual isolation in an hermetically sealed object (Ground Experimental Facility – NEK, IBMP RAS) with an artificial gas environment. The main task of the work is a periodic assessment of the BMR level for 12 months to identify its seasonal changes in isolation from the effects of seasonal geophysical factors, such as seasonal changes in lighting and temperature. Studies were performed using a Quark CPET metabolograph (CosMed, Italy). Two men and four women between the ages of 25 to 37 years participated in the experiment. The research program was approved by the Commission on Biomedical Ethics of the SSC RF – IBMP RAS (Protocol No. 643 dated 07.07.2023). The BMR measurement in each test subject was performed twice in the background, 12 times during isolation and 1 time at post-isolation. The period of isolation included sequentially: one autumn month in 2023, three seasons (winter, spring and summer) in 2024 and two autumn months in 2024. During the background studies, the crew members spent the night at the SSC RF – IBMP RAS for morning measurements after an 8-hour sleep. Their last meal was 12 hours before the BMR study. Proteins were minimized in the diet 18 hours before the BMR study [Schmidt R.F. et al., 2019]. Additionally, on the eve of the BMR study, a 24 hours urine collection was performed for the subsequent determination of nitrogen in urea for an assessment of the protein quota of energy expenditure. Urea in daily urine samples was determined on a modular configurable biochemical platform Cobas-6000 (Roche). On the night before the BMR study, sleep monitoring was performed using a portable somnological device called Somnomedics NIBP (SomnoMedics, Germany) in order to monitor the fulfillment of the conditions for determining basal metabolism. Volunteers were informed of all requirements and conditions for the correct measurement of BMR. Each session of the gas and energy exchange study took 20 minutes: in the supine position and in the state of relaxation, the parameters of basic metabolic rate were measured by dilution indirect calorimetry under a ventilated canopy. Energy expenditures were calculated according to the formula of Weir (1949

It was found that during the 12-month isolation in a hermetic object with an artificial gas environment, the BMR level in all crew members was reduced as compared to the background and after-effects. The annual minimum of the specific BMR of the crew occurred on the border of two calendar seasons (winter and spring 2024), which confirms the keeping of the seasonal rhythm of energy expenditure in isolation from seasonal geophysical factors. The annual specific BMR of the entire crew (2 men + 4 women) amounted to 49700 kcal/kg of body weight for 366 days of isolation, which was 5029 (8%) kcal/kg less than the estimated energy consumption for natural environmental conditions. The dynamics of the specific rate of fat oxidation in the crew repeated the pattern of changes in the value of specific BMR. This means that the decrease and increase in specific BMR was due to corresponding changes in lipid metabolism.

According to the results of BMR research in the SIRIUS-21 and SIRIUS-23 experiments, databases of gas and energy exchange indicators in conditions of prolonged isolation were registered (RID No. RU2025621524 dated 04/3/2025 and No. RU2025621558 dated 04/7/2025).

FMFR-2024-0038, FMFR-2024-0039, FMFR-2024-0042.

О РЕЗУЛЬТАТАХ ВЫПОЛНЕННОЙ НАУЧНОЙ И ОПЕРАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ ЦЕНТРА ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ В МЕЖДУНАРОДНОМ ИЗОЛЯЦИОННОМ ПРОЕКТЕ SIRIUS ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ МЕЖПЛАНЕТНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

Дикарев В.А., Ковригин С.Н., Королев Л.М., Крылов А.И., Попова Е.В., Савинцев А.Ю., Симбаев А.Н., Темарцев Д.А., Фалеев А.В., Чеботарев Ю.С., Черняк Е.А.

Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, Московская область, Звездный городок, Россия

z20nd8@mail.ru

В рамках масштабного международного изоляционного проекта SIRIUS, организованного ГНЦ РФ – ИМБП РАН и направленного на исследования по определению мер профилактики и технологий защиты здоровья космонавтов в космическом полете за пределами орбиты Земли, был проведен ряд экспериментальных исследований (ЭИ), постановщиком которых выступил НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина. В частности, участие НИИ ЦПК осуществлялось в экспериментах SIRIUS-21 и SIRIUS-23. Всего было реализовано восемь экспериментов в различных исследовательских направлениях.

В работе по изучению операторской деятельности при моделировании комплекса факторов космического полета в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания были исследованы качества самообучения, формирования и поддержания операторских навыков выполнения ручных динамических режимов на мобильном тренажере при моделировании полета в околопланетном и околоземном пространствах в условиях длительной изоляции и автономности работы оператора, а так же исследовано возможное влияние длительной изоляции на качество самообучения, формирование и поддержание операторских навыков. В результате выявлено, что разработанная методика, приемы и способы самообучения при выполнении «бортовых» тренировок в условиях изоляции позволяют получить и поддерживать на достаточно высоком уровне требуемые навыки.

Одно из ЭИ научно-технического направления было посвящено техническому обслуживанию и ремонту компьютерной техники, и направлено на оценку возможности ремонта компьютерной техники, на примере персонального компьютера типа «лэптоп», а также на совершенствование методик технического обслуживания, диагностики неисправностей, проведения ремонтно-восстановительных работ. Одним из результатов стала разработка рекомендаций к составу полетного ЗИП в перспективных пилотируемых миссиях в дальнем космосе, а также корректировка программ общекосмической подготовки в НИИ ЦПК.

По направлению «Космическая биология и биотехнология» были проведены два эксперимента «Антисептик» и «Микромир» с привлечением фото и видео аппаратуры. Целью проведения исследований являлась - отработка технологий удаленного обучения космонавтов с использованием ограниченных средств связи с имитацией работы в длительном межпланетном перелете и оценка качества выполняемых работ. По результату исследований проведен анализ работ в сравнении с опытными космонавтами, сформулированы рекомендации по проведению удаленного обучения оператора в условиях ограниченных средств связи с учетом задержки связи. По результату ЭИ сформулированы требования по корректировке программы в дальнейшем, по изменению подходов к обучению экипажей, а также к экипажу и его работе на борту в части операторской деятельности (для дальних межпланетных перелетов).

В ЭИ «Отработка технологии взаимодействия экипажа с землей при ремонте механических деталей на базе аддитивных технологий и 3D-прототипирования» целью являлась отработка технологии взаимодействия экипажа с Землей при ремонте механических деталей на базе аддитивных технологий и 3D-прототипирования. Кроме этого, работа с аддитивными технологиями: проектированием моделей, выбором материалов, настройкой оборудования и оптимизацией процессов 3D-печати являлась частью психологической разгрузки и поддержки экипажа. Создается предпосылка для включения в процесс подготовки космонавтов курса базового обучения по использованию инженерного программного обеспечения 3-мерного моделирования и практических занятий по 3D-прототипированию на базе аддитивных технологий.

Исследование способности членов экипажа выполнять операции по устранению нештатных ситуаций, связанные с восстановлением работоспособности (ремонтом) оборудования станции в условиях информационной изоляции показало перспективу использования разработанных методик, приемов и способов устранения нештатных ситуаций при выполнении работ по ремонту оборудования в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания. Полученные результаты будут использованы в рекомендациях для подготовки космонавтов по программам освоения дальнего космоса.

Следующая работа была посвящена исследованию влияния человеческого фактора на структурное согласование компонентов эргатической системы «космонавт – космическая техника – среда деятельности»,

оценку качества выполняемых работ, сравнение эффективности операторской деятельности испытателей при моделировании отдельных факторов космического полета в условиях длительной изоляции.

ЭИ по направлению «Космическая робототехника» проводились на этапе SIRIUS-21 с использованием технологий виртуальной реальности по управлению робототехническими системами (РТС). В эксперименте SIRIUS-23 по направлению «Операционно-технологические аспекты» в разделе «Робототехника» помимо виртуальных сцен дополнительно привлечены физические образцы РТС. Эксперимент был посвящен исследованиям по использованию РТС для поддержания операторской деятельности экипажей при реализации перспективных пилотируемых космических программ, а также операционно-технологических аспектов применения коллаборативных роботизированных технологий и средств в обеспечение автономности выполнения совместных операций операторами при ограничениях функциональных возможностей членов экипажа в условиях имитации факторов длительной космической экспедиции. По результатам ЭИ разработаны методические рекомендации выполнения задач эксперимента, включающие особенности проведения ЭИ на научной аппаратуре, методики проведения сеансов, методические рекомендации по дистанционной и самостоятельной подготовке участников исследования к сеансам, инструкции по выходу из нештатных ситуаций. Данные наработки будут полезными и применимы для подготовки космонавтов по управлению РТС космического назначения, в частности, в целевой работе «Теледроид».

Впервые были отработаны технологии дистанционного обучения испытателей с использованием средств связи в условиях моделирования задержки передачи данных. Помимо описанных выше выполненных задач, остается нерешенным некоторый спектр вопросов, связанный непосредственно с подготовкой по целевым задачам в межпланетныхперелетах и адаптацией организма человека к условиям изоляции в гермообъекте, в связи с чем считаем необходимым продолжать исследования в условиях имитации факторов длительной космической экспедиции.

ON THE RESULTS OF THE SCIENTIFIC AND OPERATIONAL-TECHNICAL PROGRAM CARRIED OUT BY THE COSMONAUT TRAINING CENTER IN THE SIRIUS INTERNATIONAL ISOLATION PROJECT DURING THE SIMULATION OF THE EFFECTS OF AN INTERPLANETARY EXPEDITION

Dikarev V.A., Kovrigin S.N., Korolev L.M., Krylov A.I., Popova E.V., Savintsev A.Yu., Simbaev A.N., Temartsev D.A., Faleev A.V., Chebotarev Yu.S., Chernyak E.A.

Yu.A. Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center, Zvezdny gorodok, Russia

z20nd8@mail.ru

As part of the SIRIUS large-scale international isolation project, organized by the Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences and aimed at research on the definition of preventive measures and technologies for protecting the health of astronauts in space flight beyond Earth orbit, a number of experimental studies (ES) were conducted, directed by the Yuri Gagarin Scientific Research Institute. In particular, the participation of the "Yu.A. Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center" FSBO carried out in the SIRIUS-21 and SIRIUS-23 experiments. In total, eight experiments were carried out in various research areas.

In the work on the study of operator activity in modeling a complex of factors of space flight in isolation in a hermetic object with an artificial habitat, the qualities of self-learning, formation and maintenance of operator skills in performing manual dynamic modes on a mobile simulator during flight simulation in near-planetary and near-Earth spaces under conditions of prolonged isolation and operator autonomy were investigated, as well as the possible the impact of prolonged isolation on the quality of self-study, the formation and maintenance of operator skills. As a result, it was revealed that the developed methodology, techniques and methods of self-learning when performing «on-board» training in isolation conditions make it possible to obtain and maintain the required skills at a sufficiently high level.

One of the ES of the scientific and technical direction was devoted to the maintenance and repair of computer equipment, and aimed at assessing the possibility of repairing computer equipment, using the example of a laptop-type personal computer, as well as improving maintenance techniques, troubleshooting, and repair and restoration work. One of the results was the development of recommendations for the composition of flight spare parts in promising manned missions in deep space, as well as the adjustment of general space training programs at the Yu.A. Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center.

In the field of «Space Biology and Biotechnology», two experiments «Antiseptic» and «Microcosm» were conducted using photo and video equipment. The purpose of the research was to develop technologies for remote training of astronauts using limited means of communication with simulated work in a long-term interplanetary

flight and to evaluate the quality of work performed. Based on the research results, an analysis of the work was carried out in comparison with experienced astronauts, and recommendations were formulated for remote operator training in conditions of limited communication facilities, taking into account communication delays. Based on the results of the ES, requirements were formulated to adjust the program in the future, to change approaches to crew training, as well as to the crew and their work on board in terms of operator activities (for long-range interplanetary flights).

In the ES «Development of technology for crew-ground interaction in the repair of mechanical parts based on additive technologies and 3D prototyping», the goal was to develop technology for crew-Ground interaction in the repair of mechanical parts based on additive technologies and 3D prototyping. In addition, working with additive technologies: designing models, selecting materials, configuring equipment, and optimizing 3D printing processes was part of the psychological relief and support for the crew. A prerequisite is being created for the inclusion of a basic training course on the use of 3D modeling engineering software and practical 3D prototyping based on additive technologies in the cosmonaut training process.

Investigation of the ability of crew members to perform operations to eliminate emergency situations related to the restoration of working capacity (repair) The plant's equipment in conditions of information isolation showed the prospect of using the developed methods, techniques and methods of eliminating emergency situations when performing equipment repair work in isolation in a hermetic facility with an artificial habitat. The results obtained will be used in recommendations for training astronauts in deep space exploration programs.

The following work was devoted to the study of the influence of the human factor on the structural coordination of the components of the ergatic system «cosmonaut – space technology – environment of activity», an assessment of the quality of work performed, and a comparison of the effectiveness of the operational activities of testers in modeling individual factors of space flight in conditions of prolonged isolation.

ES in the field of Space Robotics was conducted at the SIRIUS-21 stage using virtual reality technologies for controlling robotic systems (RTS). In the SIRIUS-23 experiment in the field of «Operational and technological aspects» in the «Robotics» section, in addition to virtual scenes, physical samples of RS were additionally involved. The experiment was devoted to research on the use of RTS to support crew operations in the implementation of promising manned space programs, as well as operational and technological aspects of the use of collaborative robotic technologies and tools to ensure the autonomy of joint operations by operators with limited functional capabilities of crew members in conditions of simulating the factors of a long-term space expedition. Based on the results of the ES, methodological recommendations have been developed for performing experimental tasks, including the specifics of conducting ES on scientific equipment, methods of conducting sessions, methodological recommendations for remote and independent preparation of study participants for sessions, and instructions for coping with emergency situations. These developments will be useful and applicable for the training of astronauts in the management of space RTS, in particular, in particular, in the target work «Teledroid»

For the first time, technologies for remote training of testers using communication tools were developed in conditions of data transmission delay simulation. In addition to the completed tasks described above, a certain range of issues remains unresolved, directly related to training for target tasks in interplanetary flights and the adaptation of the human body to isolation conditions in a hermetic facility, and therefore we consider it necessary to continue research in conditions of simulating the factors of a long-term space expedition.

ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ЧЕЛОВЕКА: АНТРОПОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Диленян Л.Р.[1], Мартусевич А.К.[2]

[1]Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия
[2]Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

cryst-mart@yandex.ru

В гравитационной биологии и физиологии поза человека – это форма взаимодействия с планетной силой тяжести Земли, адаптация к которой происходит на основе функциональной системы антигравитации (Белкания Г.С., 1982–2016), что подтверждено в экспериментах по наземным моделям невесомости и в разработке систем медико-биологического обеспечения космических полетов (Агаджанян Н.А., Башкирева Т.В., 2012). Теоретические и практические исследования значения гравитации, во всем ее диапазоне – от планетной силы тяжести, гипергравитации при ускорениях, до гипогравитации в иммерсионных средах и невесомости в Космосе составляют наиболее развитый раздел космической биологии и медицины – гра-

витационную биологию. Однако это направление в должной мере не востребовано и не используются в других областях медицины (Парин В.В. и др., 1974; Григорьев А.И., 2004–2017; Козловская И.Б., 2007-2017 и др.; Радыш И.В., Торшин В.И., Щиголь Б.И. с соавт., 2020). В клинической практике, как правило, диагностические исследования сердечно-сосудистой системы проводятся в положении лежа, то есть в условиях минимального проявления гравитационного влияния на кровообращение, что влияет на референтные значения изучаемых показателей (Singh R.B., Torshin V.I., Chibisov S. et al., 2019). В то же время практически не существует нормативов и диагностических подходов, учитывающих характерный для человека суточный ритм естественных положений тела (Белкания Г.С. и др., 2003, 2016).

Цель работы. Оценить возрастную динамику минутного объема крови (МОК) и систолического индекса у человека

Материалы и методы исследования. Данные получены на основе обсервационного (наблюдательного) исследования у 1944 людей (1308 мужчин и 636 женщин). Исследование проводилось на аппаратно-программном комплекс экспертной диагностической системы «АНТРОПОС-CAVASCREEN», в основе которого лежит тетраполярная грудная и регионарная реография по оригинальной схеме подключения токовых и потенциальных электродов. Для многоуровневого анализа и системной оценки состояния кровообращения использовали 382 гемодинамических параметра, из них в положении стоя и лежа по 130 измеряемых и расчетных показателей, по 10 в пробах с задержкой дыхания, а также 102 связанных показателя по соотношению их величин «стоя-лежа». Исследование выполнено в ортостатической и клиностатической позициях (через 15–20 минут, в вне переходных состояний). Общий объем работы составил 3888 исследований.

Результаты. Проведен анализ возрастной динамики сердечного выброса при определении МОК по положению стоя и лежа. При сопоставлении динамики абсолютных значений МОК (в мл) по собственным данным и по данным литературы (Власова Ю.А., 1992) в положении лежа отмечается практическое совпадение максимального увеличения сердечного выброса к моменту завершения роста (к 21 году). Принципиально схожей была и вся последующая динамика прогрессирующего снижения величин МОК. Особенно четко возрастное снижение сердечного выброса в положении лежа определяется по систолическому индексу (СИ). В первом приближении характер динамики кривой уровня МОК и СИ в положении стоя соответствует таковому в положении лежа. Однако при сопоставлении кривых проявляются принципиальные различия по возрастной динамике сердечного выброса стоя и лежа.

Кроме того, нами получены приводятся данные о возрастной динамике сердечного выброса по МОК стоя/лежа (в %). Линии тренда даются по общей выборке независимо от типа кровообращения. Раздельно по крайним типологическим состояниям – по III (МОК стоя/лежа выше 106 %) и I (МОК стоя/лежа ниже 94 %) типам. Параллельно линиям тренда дается цифровой ряд доли III и I (%) типа по соответствующим возрастным выборкам. Доля по II типу кровообращения (при соотношении МОК стоя/лежа 94–106 %) представлена цифровым рядом параллельно средней линии тренда общей выборки.

В соответствии с выделенными онтогенетическими этапами организменной адаптации к гравитационному фактору («антропогенетической модели») у человека отмечаются четкие фазовые отношения по динамике изменения антропофизиологического соотношения МОК. На предефинитивной стадии вплоть до завершения роста и полового созревания отмечается снижение этого соотношения как по III, так и по I типам, отражая уменьшение гиперкинетической установки по сердечному выбросу в ортостатике и увеличение гипокинетического состояния. Такая направленность по общей выборке проявляется снижением линии тренда на протяжении 1 репродуктивного возраста (до 35 лет). В дальнейшем к завершению репродуктивного периода и особенно в пострепродуктивном возрасте усиливается гиперкинетическая составляющая динамической организации кровообращения в ортостатике, что отражается выраженным подъемом линий тренда по общей выборке. При этом отмечается нарастание представительства III типа гемодинамики или гиперкинетического состояния в ортостатике (с 19 до 50 %, $P < 0.01$) с параллельным уменьшением I типа или гипокинетического состояния в ортостатике (с 68 до 40 %, $P < 0.01$). Принципиально различной по соотношению МОК стоя/лежа является динамика сердечного выброса как на разных возрастных этапах, так особенно при разных типах.

Приведенные данные демонстрируют выраженную возрастную динамику типологической структуры состояния кровообращения. У детей до 8 лет она представлена преимущественно (84 %) I типом или гипокинетическим состоянием. В целом обращает внимание выраженная нестабильность типологической структуры гемодинамики у детей до 8 лет и до начала полового созревания, что проявлялось в заметно более значимой доле промежуточного II-го или эукинетического типа гемодинамики, соответственно 7 и 32 %, по сравнению с последующими возрастными периодами. В препубертатном возрасте (9–14 лет) увеличивается доля переходного II типа и нивелируется типологическая преимущественность по выборке какого–либо типа. Устойчиво стабильной типологическая организация кровообращения становится в периодах завершения роста (15–21 год) и физической зрелости (22–35 и 36–60 лет). На этом этапе воз-

растной динамики доля состояний по I типу достигает, соответственно 85, 68 и 67 %, являясь достоверно (P < 0.05) специфической характеристикой соответствующих возрастных выборок. Постдефинитивный (пострепродуктивный) этап возрастной динамики характеризуется уменьшением доли I типа до 47 и 40 % с параллельным нарастанием представительства III типа до 45–50 %, как проявление неоптимальности типологической структуры кровообращения.

Заключение. Рассмотренная возрастная динамика типологической структуры свидетельствует о том, что антропофизиологическое соотношение МОК (стоя/лежа) является динамической характеристикой организации кровообращения и его необходимо учитывать при оценке циркуляторного состояния сердечно-сосудистой системы.

ONTOGENETIC TRANSFORMATIONS OF THE STATE OF HUMAN CENTRAL HEMODYNAMICS: AN ANTHROPOPHYSIOLOGICAL ASPECT

Dilenyan L.R.[1], Martusevich A.K.[2]

[1]Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia
[2]Lobachevsky University, Nizhny Novgorod, Russia

cryst-mart@yandex.ru

In gravitational biology and physiology, human posture is a form of interaction with the planetary gravity of the Earth, adaptation to which occurs on the basis of a functional antigravity system (Belkania G.S., 1982–2016), which is confirmed in experiments on ground–based models of weightlessness and in the development of biomedical support systems for space flights (Aghajanyan N.A., Bashkireva T.V., 2012). Theoretical and practical studies of the significance of gravity in its entire range – from planetary gravity, hypergravity during acceleration, to hypogravity in immersion media and weightlessness in Space constitute the most developed branch of space biology and medicine – gravitational biology. However, this area is not in demand and is not used in other fields of medicine (Parin V.V. et al., 1974; Grigoriev A.I., 2004–2017; Kozlovskaya I.B., 2007-2017 et al.; Radysh I.V., Torshin V.I., Shchigol B.I. et al., 2020). In clinical practice, as a rule, diagnostic studies of the cardiovascular system are carried out in a supine position, that is, in conditions of minimal manifestation of gravitational influence on blood circulation, which affects the reference values of the studied indicators (Singh R.B., Torshin V.I., Chibisov S. et al., 2019). At the same time, there are practically no standards and diagnostic approaches that take into account the circadian rhythm of natural body positions characteristic of humans (Belkania G.S. et al., 2003, 2016).

Objective: to evaluate the age-related dynamics of the minute blood volume (IOC) and systolic index in humans

Materials and research methods. The data were obtained on the basis of an observational study of 1,944 people (1,308 men and 636 women). The study was conducted using the hardware and software complex of the expert diagnostic system «ANTHROPOS-CAVASCREEN», which is based on tetrapolar thoracic and regional rheography according to the original scheme of connecting current and potential electrodes. For multilevel analysis and systemic assessment of the circulatory state, 382 hemodynamic parameters were used, of which 130 measured and calculated parameters were used in standing and lying positions, 10 in breath-holding samples, as well as 102 related indicators in the ratio of their values «standing-lying». The study was performed in orthostatic and clinostatic positions (after 15–20 minutes, in non-transitional states). The total amount of work amounted to 3,888 studies.

Results. The age-related dynamics of cardiac output was analyzed when determining the IOC by standing and lying position. When comparing the dynamics of absolute values of IOC (in ml) according to our own data and according to the literature (Vlasova Yu.A., 1992) in the supine position, there is a practical coincidence of the maximum increase in cardiac output by the time of completion of growth (by the age of 21). The entire subsequent dynamics of the progressive decrease in IOC values was fundamentally similar. The age-related decrease in cardiac output in the supine position is especially clearly determined by the systolic index (SI). To a first approximation, the dynamics of the IOC and SI level curve in the standing position corresponds to that in the prone position. However, when comparing the curves, fundamental differences appear in the age-related dynamics of cardiac output while standing and lying down.

In addition, we have obtained data on the age-related dynamics of cardiac output according to the standing/lying IOC (in %). Trend lines are given based on a general sample, regardless of the type of blood circulation. Separately according to the extreme typological conditions – according to types III (standing/lying IOC above 106 %) and I (standing/lying IOC below 94 %). Parallel to the trend lines, a digital series of fractions of type III and I (%) is given for the corresponding age samples. The proportion of type II blood circulation (with a standing/lying MOX ratio of 94–106 %) is represented by a digital series parallel to the average trend line of the total sample.

In accordance with the identified ontogenetic stages of organizational adaptation to the gravitational factor («anthropogenetic model») Humans have clear phase relationships in terms of the dynamics of changes in the anthropophysiological ratio of IOC. At the pre-definitive stage, until the end of growth and puberty, there is a decrease in this ratio in both types III and I, reflecting a decrease in the hyperkinetic setting for cardiac output in orthostatics and an increase in the hypokinetic state. This trend in the general sample is manifested by a decrease in the trend line for 1 reproductive age (up to 35 years). Later, towards the end of the reproductive period and especially in post-reproductive age, the hyperkinetic component of the dynamic organization of blood circulation in orthostatics increases, which is reflected by a pronounced rise in trend lines in the general sample. At the same time, there is an increase in the representation of type III hemodynamics or hyperkinetic state in orthostatics (from 19 to 50 %, $P < 0.01$) with a parallel decrease in type I or hypokinetic state in orthostatics (from 68 to 40%, $P < 0.01$). The dynamics of cardiac output is fundamentally different in the ratio of standing/lying MOX both at different age stages, and especially with different types.

These data demonstrate a pronounced age-related dynamics of the typological structure of the circulatory state. In children under 8 years of age, it is mainly represented (84 %) by type I or hypokinetic condition. In general, attention is drawn to the pronounced instability of the typological structure of hemodynamics in children under 8 years of age and before puberty, which manifested itself in a noticeably more significant proportion of intermediate II or eukinetic type of hemodynamics, respectively 7 and 32 %, compared with subsequent age periods. At prepubertal age (9–14 years), the proportion of transitional type II increases and the typological preference for a sample of any type is eliminated. The typological organization of blood circulation becomes stable during the periods of completion of growth (15–21 years) and physical maturity (22–35 and 36–60 years). At this stage of age dynamics, the proportion of type I conditions reaches 85, 68, and 67 %, respectively, being a significantly ($P < 0.05$) specific characteristic of the corresponding age samples. The post-definitive (post-productive) stage of age dynamics is characterized by a decrease in the proportion of type I to 47 and 40%, with a parallel increase in the representation of type III to 45–50 %, as a manifestation of the suboptimality of the typological structure of blood circulation.

Conclusion. The considered age dynamics of the typological structure indicates that the anthropophysiological ratio of IOC (standing/lying down) is a dynamic characteristic of the organization of blood circulation and it must be taken into account when assessing the circulatory state of the cardiovascular system.

КОРРЕКТИРОВКА НОРМАТИВОВ РАСХОДА СРЕДСТВ ГИГИЕНЫ В НАЗЕМНОМ ИЗОЛЯЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ С УЧАСТИЕМ ЧЕЛОВЕКА

Домничева А.А., Поддубко С.В., Комиссарова Д.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Domnicheva@imbp.ru

Обеспечение санитарно-гигиенического благополучия экипажа является критически важным компонентом безопасности и эффективности длительных автономных космических полетов. Однако жесткие ограничения по массе, объему и регенерации ресурсов (воды, гигиенических материалов, энергии) на борту космических аппаратов создают существенные препятствия для выполнения традиционных санитарно-гигиенических процедур в полном объеме. Настоящая работа посвящена изучению влияния лимитированного объема ресурсов (ресурсосбережения) на возможность и качество реализации санитарно-гигиенической деятельности экипажем в условиях автономии. Анализ этого влияния и последующая научно обоснованная корректировка существующих норм и протоколов гигиены представляются ключевым фактором для повышения реальной автономности экипажа, снижения его зависимости от наземного контроля и грузопотоков, а также для обеспечения долгосрочного здоровья и работоспособности членов экипажа в рамках перспективных межпланетных миссий.

В рамках наземного эксперимента по долговременной изоляции экипажа SIRIUS-23 проведено исследование по оптимизации расходования средств личной гигиены (СЛГ). Экипаж изоляционного эксперимента состоял из 6 человек – двое мужчин и четыре женщины, – которые провели в условиях гермозакнутого объекта 365 суток. В рамках изоляции изучались механизмы адаптации человека к условиям длительной изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания, имитирующей пилотируемый космический полет. Эксперимент был одобрен биоэтической комиссией ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 643 от 7 июля 2023 года).

Цель эксперимента: минимизация логистических поставок и адаптация норм к условиям автономии.

Велся ежесуточный персонифицированный учет расхода 44 позиций СЛГ с использованием системы штрихкодирования и БД (базы данных) «Расход и потребление». В изоляционном эксперименте также осуществлялась предстартовая загрузка и дополнительные поставки СЛГ и предметов одежды на 30, 90, 180, 270-е сутки эксперимента. Продукция соответствовала требованиям ЕАЭС (ТР ТС, сертификаты, маркировка).

Нормирование количества СЛГ и одежды изначально базировались на нормативах МКС и опыте предыдущих экспериментов, однако в ходе эксперимента нормы были скорректированы для 9 позиций СЛГ на основе фактического потребления. Была выявлена возможность значительного увеличения межзаменного периода для ополаскивателя с 1 шт раз в 60 сут на 1 шт раз в 90 сут, шампуня и бальзама с 1 шт раз в 45 сут на 1 шт раз в 90 сут, геля после бритья с 1 шт раз в 30 сут на 1 шт раз в 60 сут, микрофибры с 1 шт раз в 20 сут на 1 шт раз в 40 сут. Также потребовалось сокращение периода замены для зубных щеток с 1 шт раз в 30 сут на 1 шт раз в 25 сут и зубочисток с 1 шт раз в 20 сут на 1 шт раз в 10 сут. При этом нормы для 36 позиций СЛГ (включая зубную нить, гели для бритья/душа, туалетную бумагу, дезодоранты и др.) остались неизменными.

Исследование позволило эмпирически скорректировать и уточнить нормативы расхода СЛГ для наземных изоляционных экспериментов, повышая их автономность. Тем не менее, прямая экстраполяция полученных наземных норм на реальные космические полеты (МКС) невозможна из-за фундаментальных различий в условиях (микрогравитация, применение спецсредств и укладок, отсутствие стирки). Система штрихкодирования доказала свою эффективность для подобных исследований.

Ключевые слова: изоляционный эксперимент, средства личной гигиены, нормативы расхода, износостойкость одежды, циклы стирки, автономный экипаж, наземное моделирование, космические полеты, лунная база.

Тема фундаментальных научных исследований FRFM-2024-0035

ADJUSTMENT OF CONSUMPTION STANDARDS FOR HYGIENE PRODUCTS IN A GROUND-BASED ISOLATION EXPERIMENT WITH HUMAN PARTICIPATION

Domnicheva A.A., Poddubko S.V., Komissarova D.V.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Domnicheva@imbp.ru

Ensuring the sanitary and hygienic well-being of the crew is a critical component of the safety and efficiency of long-term autonomous space flights. However, strict limitations on the mass, volume and regeneration of resources (water, hygiene materials, energy) on board spacecraft create significant obstacles to the implementation of traditional sanitary and hygienic procedures in full. This work is devoted to studying the influence of a limited volume of resources (resource conservation) on the possibility and quality of the implementation of sanitary and hygienic activities by the crew in autonomous conditions. An analysis of this impact and subsequent scientifically based adjustment of existing hygiene standards and protocols appear to be a key factor in increasing the crew's real autonomy, reducing its dependence on ground control and cargo flows, and ensuring the long-term health and performance of crew members in promising interplanetary missions.

As part of the ground experiment on long-term isolation of the SIRIUS-23 crew, a study was conducted to optimize the consumption of personal hygiene products (PHP). The crew of the isolation experiment consisted of 6 people – two men and four women – who spent 365 days in a hermetically sealed facility. As part of the isolation, the mechanisms of human adaptation to long-term isolation in a hermetically sealed facility with an artificial habitat simulating a manned space flight were studied. The experiment was approved by the Bioethics Commission of the Russian Scientific Center – IBMP RAS (Protocol No. 643 dated July 7, 2023).

The purpose of the experiment: to minimize logistics deliveries and adapt standards to the conditions of autonomy. Daily personalized accounting of the consumption of 44 items of SLG was conducted using a barcoding system and the DB (database) «Consumption and Consumption». In the isolation experiment, pre-launch loading and additional deliveries of SLG and clothing items were also carried out on days 30, 90, 180, 270 of the experiment. The products met the requirements of the EAEU (TR CU, certificates, labeling). The standardization of the amount of SLG and clothing was initially based on the standards of the International Conference of Experts and the experience of previous experiments, but during the experiment the standards were adjusted for 9 items

of hygiene products based on actual consumption. The possibility of a significant increase in the inter-replacement period for rinse aid from 1 piece every 60 days to 1 piece every 90 days, shampoo and conditioner from 1 piece every 45 days to 1 piece every 90 days, aftershave gel from 1 piece every 30 per day for 1 piece every 60 days, microfibers from 1 piece every 20 days to 1 piece every 40 days. It was also necessary to reduce the replacement period for toothbrushes from 1 piece every 30 days to 1 piece every 25 days and toothpicks from 1 piece every 20 days to 1 piece every 10 days. At the same time, the standards for 36 items of the hygiene products (including dental floss, shaving/shower gels, toilet paper, deodorants, etc.) remained unchanged. The study made it possible to empirically adjust and clarify the standards for hygiene products consumption for ground-based isolation experiments, increasing their autonomy. However, direct extrapolation of the obtained ground standards to real space flights is impossible due to fundamental differences in conditions (microgravity, use of special means and packing, no washing). The system barcoding has proven its effectiveness for such studies.

Keywords: Isolation experiment, personal hygiene products, consumption standards, wear resistance of clothing, washing cycles, autonomous crew, ground modeling, space flights, lunar base.

FRFM-2024-0035.

СЕМАНТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТЕНОГРАММ ПЕРЕГОВОРОВ УЧАСТНИКОВ ИЗОЛЯЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА SIRIUS-21

Егорова А.А.[1], Кисельников А.А.[1], Суполкина Н.С.[2], Юсупова А.К.[2]

[1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[2]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

99anna@inbox.ru

Семантический анализ текста позволяет оценить динамику смысловых структур, эмоциональных оттенков и коммуникативных стратегий непосредственно в процессе речевой деятельности. Коммуникация между экипажем космического корабля и Центром управления полетами открывает уникальные перспективы для научного анализа не только психоэмоционального состояния индивидов в условиях пролонгированной изоляции, но и для углубленного исследования семантических структур речевой деятельности в экстремальной среде.

Целью исследования являлось выявление изменений семантических параметров речи испытателей в переговорах с наземными службами.

В качестве основных данных анализа выступали стенограммы ежедневных планировочных конференций (DPC), которые были сделаны каждым испытателем в начале и в конце дня. Суммарно было проанализировано 2400 стенограмм планировочных конференций.

В отличие от традиционных качественных методов интерпретации, количественный контент-анализ обеспечивает более объективную и детализированную оценку содержания, выявляя частотные закономерности, тематические кластеры и скрытые смысловые связи. Данный подход позволяет проводить мониторинг и анализ коммуникативных процессов в режиме реального времени или на больших массивах текстовых данных. Это делает его эффективным инструментом для изучения любых форм вербальной коммуникации. Для кодирования использовалась методика анализа коммуникации космических экипажей с Землей, в матрице которой 27 вербальных категорий: копинг-стратегии («Принятие ответственности», «Избегание» и др.), эффективность общения («Информирование», «Претензия» и др.) и прагматические категории («Авария/поломка», «Сон» и др.). Был выполнен факторный анализ методом главных компонент, вращение методом Варимакс.

Выделены 8 факторов, в каждый из которых включены определенные категории матрицы контент-анализа. Первый фактор включил в себя категории: «Отрицательная эмоциональная окраска», «Запрос информации», «Требование/Просьба», «Информирование», «Когнитивное», «Время», «Проблема», «Недоверие/Претензия». Во второй фактор включены категории: «Положительная эмоциональная окраска» и «Поддержка». В третий фактор вошли категории: «Юмор» и «Конфронтация». Четвертый фактор включил в себя: «Авария, поломка», «Откладывание ответственности» и «Поиск поддержки». В пятый фактор вошли категории: «Усилие» и «Сон». В шестой фактор включены: «Недоверие» и «Поиски». В седьмой фактор вошли категории: «Доверие» и «Позитивная переоценка/Саморегуляция». В восьмой фактор вошли категории: «Планирование», «Уход, отказ, избегание», «Самооправдания» и «Поиски».

Для исследования динамики семантической стороны переговоров экипажа с ЦУПом, весь период эксперимента был разделен на четверти. Проведенный анализ позволил идентифицировать наличие «феномена третьей четверти». Эмпирическим подтверждением его наличия служит снижение частоты употребления высказываний, относящихся к категории «Поддержка», в третьей четверти экспериментального периода. Подобная динамика интерпретируется как индикатор повышенного психоэмоционального напряжения среди испытателей на указанном этапе исследования. В четвертой четверти наблюдалось увеличение частоты употребления в речи категории «Позитивная эмоциональная окраска», что указывает на возобновление моральных сил и стадию «конечного порыва».

Семантические изменения не всегда линейны и могут проявляться в различных формах, зависящих от этапа изоляции и индивидуальных особенностей участников. Как и в предыдущих исследованиях, посвященных изучению речи человека в условиях длительной изоляции, нами были выявлены индивидуальные и культурные различия, играющие ключевую роль в успешной адаптации участников, особенно в международных экипажах.

Полученные результаты демонстрируют изменения в речевой деятельности членов экипажа изоляционного эксперимента SIRIUS-21, находящихся в условиях длительной изоляции. Пребывание в условиях изоляции изменило содержательную сторону речи испытателей. Перспективы исследования включают углубленный анализ индивидуальных различий в коммуникации членов экипажа, интеграцию семантического анализа с психофизиологическими данными (ЭЭГ, кортизол), разработку алгоритмов машинного обучения для автоматического выявления речевых паттернов, сравнительные исследования различных экипажей, создание программ психологической поддержки, а также применение подхода к другим экстремальным профессиям (полярные экспедиции, подводные миссии). Эти направления позволят разработать практические инструменты для поддержания эффективной коммуникации и психологического благополучия в условиях длительной изоляции.

Работа выполнена в рамках Программы Фундаментальных научных исследований РАН FMFR-2024-0034.

SEMANTIC ANALYSIS OF TRANSCRIPTS OF CONVERSATIONS BETWEEN PARTICIPANTS OF THE ISOLATION EXPERIMENT SIRIUS-21

Egorova A.[1], Kiselnikov A.[1], Supolkina N.[2], Yusupova A.[2]

[1]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
[2]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

99anna@inbox.ru

Semantic analysis of the text allows us to evaluate the dynamics of semantic structures, emotional connotations and communicative strategies directly in the process of speech activity. Communication between the spacecraft crew and the Mission Control Center (MCC) opens unique perspectives for scientific analysis not only of the psycho-emotional state of individuals in prolonged isolation, but also for an in-depth study of the semantic structures of speech activity in an extreme environment.

The aim of the study was to identify changes in the semantic parameters of test takers' speech in conversations with MCC.

The main data of the analysis were transcripts of daily planning conferences (DPC), which were made by each tester at the beginning and at the end of the day. A total of 2400 transcripts of planning conferences were analyzed.

In contrast to traditional qualitative methods of interpretation, quantitative content analysis provides a more objective and detailed assessment of content, revealing frequency patterns, thematic clusters and hidden semantic connections. This approach allows monitoring and analyzing communicative processes in real time or on large textual data sets. This makes it an effective tool for studying any form of verbal communication. For coding, we used the methodology of analyzing space crews' communication with Earth, with 27 verbal categories in its matrix: coping strategies («Accepting responsibility», «Avoidance», etc.), communication effectiveness («Informing», «Claiming», etc.) and pragmatic categories («Accident/breakdown», «Sleep», etc.). Factor analysis was performed by principal component method, rotation by Varimax method.

Eight factors were identified, each of which included certain categories of the content analysis matrix. The first factor included the categories: «Negative emotional coloring», «Request for information», «Demand/Request», «Informing», «Cognitive», «Time», «Problem», «Distrust/Complaint». The second factor included the categories:

'Positive Emotional Coloring' and 'Support'. The third factor included the categories: 'Humor' and 'Confrontation'. The fourth factor included: «Accident, Breakdown», «Deferring Responsibility» and «Seeking Support». The fifth factor included the categories, «Effort» and «Sleep». The sixth factor included: «Distrust» and «Searching». The seventh factor included the categories, «Trust» and «Positive Reassessment/Self-regulation.» The eighth factor included the categories: 'Planning', 'Withdrawal, Denial, Avoidance', 'Self-justification' and 'Searching'.

To investigate the dynamics of the semantic side of the crew's negotiations with the Mission Control Center, the entire period of the experiment was divided into quarters. The analysis made it possible to identify the presence of the «third quarter phenomenon». The empirical confirmation of its presence is a decrease in the frequency of use of statements belonging to the «Support» category in the third quarter of the experimental period. Such dynamics is interpreted as an indicator of increased psycho-emotional tension among the test takers at this stage of the study. In the fourth quarter, there was an increase in the frequency of use of the category «Positive emotional coloring» in speech, which indicates the renewal of moral forces and the stage of «final impulse».

Semantic changes are not always linear and can manifest themselves in different forms, depending on the stage of isolation and individual characteristics of the participants. As in previous studies of human speech in long-term isolation, we identified individual and cultural differences that play a key role in the successful adaptation of participants, especially in international crews.

The obtained results demonstrate changes in the speech activity of the SIRIUS-21 isolation experiment crew members under prolonged isolation conditions. Staying in isolation changed the content of the test crew members' speech. Prospects for research include in-depth analysis of individual differences in crew members' communication, integration of semantic analysis with psychophysiological data (EEG, cortisol), development of machine learning algorithms for automatic detection of speech patterns, comparative studies of different crews, creation of psychological support programs, and application of the approach to other extreme professions (polar expeditions, underwater missions). These directions will enable the development of practical tools to support effective communication and psychological well-being in long-term isolation.

The study was carried out within the framework of the Fundamental Scientific Research Program of the Russian Academy of Sciences FMFR-2024-0034.

ДИНАМИКА ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ОКРАШЕННОСТИ ВЫСКАЗЫВАНИЙ В ДНЕВНИКАХ ИСПЫТАТЕЛЕЙ В ГОДОВОМ ИЗОЛЯЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ SIRIUS-23

Егорова Н.Д.[1], Кузнецова П.Г.[2]

[1]Российский государственный гуманитарный университет, Институт психологии им. Л.С. Выготского, Москва, Россия
[2]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

ndegorova@mail.ru

Длительная изоляция и регламентированные условия среды создают риски эмоционального истощения и нарушений коммуникации в группе. Подобные условия характерны для космических миссий, полярных зимовок, работы экипажей подводных лодок и других длительных экспедиций в изолированных средах. Практическая значимость исследования может выходить за рамки психологии труда в экстремальных условиях: работа актуальна для организаций с высокой зависимостью эффективности коммуникаций (для обоснования регламентов обмена информацией, циклов обратной связи) и для сотрудников на удаленном режиме работы, где значимая часть общения уходит в интернет, а офлайн-контакты ограничены домохозяйством (необходимость структурированного распорядка, профилактики социальной изоляции).

Целью работы было описать динамику эмоциональной окрашенности высказываний по четырем контрольным точкам и выявить взаимосвязь фазовых изменений с тематикой высказываний. В эксперименте SIRIUS-23, моделирующем годовой космический полет, участвовали шесть добровольцев. Для анализа использовались видеозаписи и расшифровки их индивидуальных, приватных видео-дневников, сделанных на 35-е, 133-и, 217-е и 301-е сутки изоляции. Условия эксперимента относились к типу ICE (Isolated, Confined, Extreme — изолированные, пространственно ограниченные и экстремальные условия, где снижена новизна, ограничены контакты и регламентировано большинство действий). Анализ проводился в двух форматах: основной отчет использовал абзац как единицу анализа, дополнительный — отдельные фразы и предложения. Эмоциональные реакции классифицировались по модальности (положительные, отрицательные, нейтральные) на основе словарного подхода; при совпадении нескольких валентностей в

одном высказывании приоритет отдавался положительной, затем отрицательной, и в последнюю очередь нейтральной. Дополнительно фиксировались тематические категории: сон, питание, взаимодействие, рабочие задачи, приватность.

Интенсивность положительных эмоций в среднем оставалась на высоком уровне, с небольшими колебаниями на разных этапах. Негативные эмоции фиксировались реже и демонстрировали умеренные изменения в течение года. Доля нейтральных высказываний была сравнительно небольшой и существенных колебаний не показывала. По тематике в среднем чаще всего упоминались «взаимодействие» и «работа», на 133-и и 217-е сутки возрастали ссылки на «приватность». Это может отражать рост потребности в личном пространстве в середине эксперимента.

Выделены четыре фазы адаптации: 1) Начальная адаптация – эмоциональный подъем, формирование ритуалов, гибкие границы общения; 2) Стабилизация и амбивалентность – рост потребности в приватности, индивидуализация копинг-стратегий, признаки скрытых напряжений; 3) Уязвимость и перегрузка – снижение мотивации, эмоциональное утомление, сужение репертуара копинг стратегий, у части экипажа – признаки выгорания; 4) Финальная фаза – поляризация стратегий: от устойчивой включенности и поддержки морального климата до проявлений отчужденности.

Количественно эти выводы опираются на динамику доли эмоционально окрашенных фраз (увеличение от начала к середине эксперимента с последующим частичным снижением), изменение частоты отрицательных и нейтральных высказываний (рост к середине года, затем стабилизация или снижение к финалу), а также колебания частоты упоминаний тем «приватности» и «взаимодействия», пики которых приходились на середину эксперимента. Усиление доли отрицательных и нейтральных высказываний к 133-м суткам не обязательно означает дезадаптацию; скорее, это отражает смену способов сохранения психологического ресурса и перераспределение функциональных ролей внутри команды. Частичное восстановление позитивного фона к 217–301-м суткам совпало с закреплением командных ритуалов и установлением понятных «правил игры» в повседневных взаимодействиях.

Ключевыми факторами, влияющими на эмоциональный климат и устойчивость участников, стали командные договоренности и личная внутренняя мотивация. Эти факторы укреплялись визуальными и символическими напоминаниями о прогрессе миссии (отметки этапов, символы достигнутых целей), а также юмором и маленькими совместными успехами. Полученные наблюдения согласуются с данными анализа дневников экипажей в исследованиях Stuster, где описана фазная динамика эмоций и коммуникации в ICE-средах.

Таким образом, практические рекомендации для экипажей в космосе, Антарктиде и других изолированных экспедициях включают: поддержание регулярных циклов командного анализа с обязательным закреплением ответственности; создание и поддержание совместных ритуалов; визуализацию прогресса миссии; сохранение юмора и небольших совместных улучшений среды; четкие правила приватности и доступности участников.

Выводы. (1) Аффективная динамика в изоляции носит фазный характер. (2) Эмоциональная интенсивность и тематические акценты согласованно меняются между 35/133/217/301 сутками. (3) Эмоциональную устойчивость к условиям космического полета повышают структурирование коммуникаций, поддержание морального климата (совместные ритуалы, юмор, поддерживающее отношение), а также возможности для творчества и созидательной деятельности (мелкие улучшения среды, хобби, символика важности миссии и личного участия).

DYNAMICS OF THE EMOTIONAL VALENCE OF UTTERANCES IN THE DIARIES OF PARTICIPANTS IN THE YEAR-LONG ISOLATION EXPERIMENT SIRIUS-23

Egorova N.D.[1], Kuznetsova P.G.[2]

[1]Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia
[2]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ndegorova@mail.ru

Prolonged isolation and tightly regulated environmental conditions create risks of emotional exhaustion and impaired communication within a group. Such conditions are characteristic of space missions, polar overwintering, submarine crews, and other long expeditions in isolated settings. The practical significance of this study extends beyond occupational psychology in extreme environments: the work is relevant for organizations whose effectiveness depends heavily on communication (to substantiate rules for information exchange and feedback cycles) and for employees working remotely, where a significant share of interaction moves online and offline contact is limited to the household (necessitating a structured daily routine and prevention of social isolation).

The aim of the study was to describe the dynamics of the emotional valence of utterances at four checkpoints and to identify the relationship between phase changes and utterance themes. Six volunteers took part in SIRIUS-23, an experiment modeling a year-long spaceflight. The analysis used video recordings and transcripts of their individual, private video diaries made on days 35, 133, 217, and 301 of isolation. The experimental conditions corresponded to the ICE type (Isolated, Confined, Extreme – settings characterized by reduced novelty, limited contacts, and regulation of most activities). The analysis was conducted in two formats: the main report used the paragraph as the unit of analysis; an auxiliary analysis considered individual sentences and clauses. Emotional reactions were classified by modality (positive, negative, neutral) using a lexicon-based approach; when multiple valences co-occurred in a single utterance, priority was given to positive, then negative, and lastly neutral. Thematic categories additionally coded were: sleep, nutrition, interaction, work tasks, and privacy.

On average, the intensity of positive emotions remained high, with minor fluctuations at different stages. Negative emotions were recorded less frequently and showed moderate changes over the year. The share of neutral utterances was comparatively small and did not exhibit substantial variation. In terms of themes, "interaction" and "work" were mentioned most often on average; references to "privacy" increased on days 133 and 217, which may reflect a heightened need for personal space in the middle of the experiment.

Four adaptation phases were identified: (1) Initial adaptation – emotional uplift, formation of rituals, flexible communication boundaries; (2) Stabilization and ambivalence – increased need for privacy, individualization of coping strategies, signs of latent tensions; (3) Vulnerability and overload – decline in motivation, emotional fatigue, narrowing of the coping repertoire, with signs of burnout in part of the crew; (4) Final phase – polarization of strategies: from sustained engagement and support of morale to manifestations of alienation.

Quantitatively, these conclusions are supported by the dynamics of the share of emotionally valenced phrases (an increase from the beginning to the middle of the experiment followed by a partial decrease), changes in the frequency of negative and neutral utterances (growth toward midyear, then stabilization or decline by the end), and fluctuations in references to the themes of "privacy" and "interaction," which peaked in the middle of the experiment. The increase in negative and neutral utterances by day 133 does not necessarily indicate maladaptation; rather, it reflects a shift in strategies for conserving psychological resources and a redistribution of functional roles within the team. The partial restoration of a positive background by days 217–301 coincided with the consolidation of team rituals and the establishment of clear "rules of the game" in everyday interactions.

The key factors influencing the emotional climate and participants' resilience were team agreements and personal intrinsic motivation. These factors were reinforced by visual and symbolic reminders of mission progress (milestone markers, symbols of goals achieved), as well as humor and small shared successes. The observations align with analyses of crew diaries in studies by Stuster, which describe phase-like dynamics of emotion and communication in ICE settings.

Thus, practical recommendations for crews in space, Antarctica, and other isolated expeditions include: maintaining regular cycles of team debriefs with explicit assignment of responsibility; creating and sustaining shared rituals; visualizing mission progress; preserving humor and undertaking small joint improvements to the habitat; and adopting clear rules for privacy and availability.

Conclusions. (1) Affective dynamics in isolation are phase-like. (2) Emotional intensity and thematic emphases change concordantly across days 35/133/217/301. (3) Emotional resilience to spaceflight-like conditions is enhanced by structured communications, maintenance of morale (shared rituals, humor, supportive attitudes), and opportunities for creativity and constructive activity (small environmental improvements, hobbies, and symbols of the mission's importance and of personal contribution).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГАЗООБМЕНА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА ФИЗИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

Ермолаев Е.С.[1, 2], Дьяченко А.И.[1, 2], Зарипов Р.Н.[1, 2], Шулагин Ю.А.[1]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

[2]Тамбовский государственный технический университет, Москва, Россия

1861894@mail.ru

Разработана математическая модель газообмена в биотехнической системе (БТС), включающей биологические ткани, кардио-респираторную систему человека и внешнее пространство заданного объема с измерительными датчиками. В нашей предыдущей модели в теле человека было выделено 2 резервуара

– «легочный» компартмент и «тканевой» компартмент (Ermolaev et al., 2020). В настоящем исследовании выделен третий резервуар – «мозговой» компартмент. Четвертый резервуар модели — дыхательный контур (или «внешний» компартмент), находится вне тела человека, и описывает внешнюю среду – атмосферу или любое другое ограниченное пространство, из которого человек вдыхает и куда выдыхает воздух, в том числе устройства, предназначенные для исследования регуляции дыхания или средства защиты дыхания с соответствующими параметрами температуры, давления, влажности и содержанием вдыхаемых и выдыхаемых газов.

Исследование включает разработку математической модели газообмена при физической нагрузке, а также сравнение экспериментальных данных, полученных в опытах К. Вассермана при физической нагрузке в течение 4 минут (Wasserman K., 1978), с результатами имитационного моделирования. В частности, рассматриваются динамика парциальных давлений метаболических газов в БТС во время физической нагрузки. Модель описывает динамику содержания и состояния газов (CO_2, O_2 и других газов, не участвующих в метаболических и химических реакциях, например N_2) в четырех компартментах БТС во время физической нагрузки. Модель характеризуется тремя группами параметров: управляющие и управляемые параметры кардиореспираторной системы человека, и начальные значения переменных модели.

Газовая смесь в БТС рассматривается как многокомпонентная система, состоящая из водяного пара и сухой газовой смеси, которая ведет себя как идеальный газ. Вентиляционная реакция человека на измененный газовый состав альвеолярного газа определяется гиперкапническим и гипоксическим хеморефлексами, описанными обыкновенными дифференциальными уравнениями (Magosso E. et al., 2001).

В отличии от наших предыдущих работ (Dyachenko et al., 2015, Ermolaev et al., 2024) настоящая математическая модель включает динамику метаболического потребления O_2 и выделения CO_2 при переходе из состояния покоя в состояние физической нагрузки, ранее параметры метаболизма (JO_2 и JCO_2) были выражены константами.

Реакция кардиореспираторной системы на физическую нагрузку описывается 3 составляющими: 1) быстрый рост кровотока и вентиляции в ответ на начало физической нагрузки 2) более медленная реакция, осуществляемая механизмами регуляции вентиляции и кровотока по газовому составу артериальной крови 3) периферическая нейронная регуляция посредством мышечных афферентов (Shevtsova et al., 2019).

В рамках моделирования исследуются 3 периода: дыхание в покое, при физической нагрузке и восстановление. Длительность моделируемого периода нагрузки соответствует литературным данным, представленным К. Вассерманом в 1978 году. Следующие параметры варьируются для имитационного моделирования физиологических процессов в покое и при нагрузке: потребление O_2 (Jo2), выработка CO_2 (Jco2) и сердечный выброс или кровоток (Q), чувствительность периферических и центральных хеморецепторов к O_2 и CO_2. При моделировании физической нагрузки наблюдалось увеличение Pco2 и снижение Po2 в компартменте «легкие», а также дополнительное изменение кровотока и вентиляции, обусловленное изменением напряжения газов в артериальной крови. Установлено, что степень качественной сопоставимости результатов моделирования с литературными данными существенно выше, если скорректировать параметры, описывающие периферический и центральный хеморефлексы.

Таким образом, модель газообмена в БТС описывается замкнутой системой уравнений, состоящей из 11 обыкновенных дифференциальных уравнений и 12 алгебраических уравнений. Все вычисления производились в графической среде имитационного моделирования Matlab Simulink в режиме с автоматическим выбором решателя с фиксированным шагом 0,01 для численного интегрирования дифференциальных уравнений.

Полученное хорошее соответствие имитационных и экспериментальных данных о динамике состава газа в БТС показывает, что модель позволяет прогнозировать состояние газовой смеси в БТС в каждый момент времени физической нагрузки. Таким образом, разработана модель БТС, содержащей ткани, кардио-респираторную систему человека и «внешний» резервуар. Верификация модели показала ее адекватность.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-19-00272, https://rscf.ru/project/25-19-00272/.

MATHEMATICAL MODEL OF GAS EXCHANGE FOR THE STUDY OF HUMAN VENTILATION RESPONSE TO PHYSICAL EXERCISES

Ermolaev E.S.[1, 2], Dyachenko A.I.[1, 2], Zaripov R.N.[1, 2], Shulagin Yu.A.[1]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Tambov State Technical University (TSTU), Moscow, Russia

1861894@mail.ru

The mathematical model describes gas exchange in the biotechnical system (hereafter, BTS), including human tissues, cardiorespiratory system and an external compartment of a given volume with measuring sensors. Our early models included 2 body compartments – the «lungs», the body «tissues» (Ermolaev et al., 2020). The present model includes 3rd body compartment – the «brain». The 4th compartment is out of the human's body – an external compartment out of human's body, describes external environment – atmosphere or any other volume or device with given sizes to inspire or expire the air, including devices for breathing regulation parameters study measurements or breathing protective equipment with a corresponding temperature, pressure, humidity and a given gas composition of inspired and expired gases.

The study includes the development of a mathematical model of gas exchange during physical activity, as well as a comparison of simulation results with experimental data obtained in the experiments of K. Wasserman during 4 min physical exercises (Wasserman K., 1978). In particular, the partial pressures of metabolic gases dynamics in the BTS during physical exercise are considered. The model describes the content and state of gases dynamics (O_2, CO_2, and a mixture of other gases, that do not participate in the metabolic and chemical reactions, e.g. N_2) in 4 compartments of BTS during physical exercise. The model includes 3 types of parameters - governing parameters and controlled variables of the cardio respiratory system, as well as initial values of variables.

The gas mixture in the BTS is considered as a multiple-component system, included moisture vapor and a dry mixture of gases, governable to ideal gas law. The ventilation reaction to altered alveolar gas mixture is defined by hypercapnic and hypoxic chemoreflexes described by ordinary differential equations presented by Magosso and Ursino in 2001 [Maggosso E., Ursino M., 2001].

Unlike our previous studies (Dyachenko et al., 2015, Ermolaev et al., 2024), the present mathematical model includes the dynamics of metabolic O_2 consumption and CO_2 production during the rest to physical activity transition period; previously, metabolic parameters (JO2 and JCO2) were expressed as constants.

Human's cardiorespiratory system's response to physical load described by 3 components: 1) rapid blood flow and ventilation increase in response to the onset of physical activity 2) a slower reaction, the main role of which belongs to the mechanisms of ventilation and blood flow regulation based on the gas composition of arterial blood 3) peripheral neural regulation via muscle afferents (Shevtsova et al., 2019).

The simulation consists of 3 stages: breathing at the rest, under physical load during 4 minutes, and a recovery period. The physical load period is complied with the experimental data presented in the K. Wassermann's study (1978). The following parameters are varied for the purpose of physiological processes at rest and under physical load simulation: O_2 consumption, CO_2 production and cardiac output, peripheral and central chemoreceptors sensitivity to O_2 and CO_2. During physical load simulation an increase in Pco2 and a decrease in Po2 in the «lung» compartment were observed, as well as changes in blood flow and ventilation caused by gases tension changes in arterial blood. It was found that the degree of qualitative comparability between the simulation results and the literature data is significantly higher if the peripheral and central chemoreflexes parameters will be adjusted.

Thus, the mathematical model of BTS gas exchange is a closed system of 11 ordinary differential equations with delays and 12 algebraic equations. All calculations were performed in the Matlab Simulink software package using an automatic solver with initial step $\Delta t = 0.01$ sec for the numerical solution of differential equations.

The simulation results of gas composition dynamics in the BTS are in good agreement with experimental data. This shows that the model allows to predicting the gas mixture state in the compartments of the BTS at each moment of physical activity.

Thus, a mathematical model of the BTS containing human tissues, the cardiorespiratory system and an «external» compartment was developed. Verification of the model showed its adequacy.

The study supported by the grant of Russian Science foundation № 25-19-00272, https://rscf.ru/project/25-19-00272/.

ИЗМЕРЕНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ РЕАКЦИИ НА ГИПЕРКАПНИЮ И ГИПОКСИЮ У ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ФИЗИОЛОГИИ И В МЕДИЦИНЕ

Ермолаев Е.С., Дьяченко А.И., Шулагин Ю.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

razzz87@mail.ru

Изучение механизмов регуляции гемодинамики и вентиляционной реакции (ВР) непосредственно во время космического полета является сложной задачей, что связано со спецификой организации полетных экспериментов. На сегодняшний день существуют адекватные модели для имитации физиологических эффектов микрогравитации в земных условиях: сухая иммерсия (СИ) и антиортостатическая гипокинезия (АНОГ).

Например, в условиях длительной АНОГ наблюдается перераспределение жидких сред организма в краниальном направлении и повышение давления крови в церебральных сосудах, что может приводить к церебральным нарушениям и ухудшению когнитивных функций. Кроме того, известно, что в СИ и АНОГ изменяются объемы легких, форма грудной клетки и легких, распределение напряжений и деформаций легочной ткани, распределение легочного кровотока. При этом эти имитационные модели микрогравитации не воспроизводят эффекты микрогравитации на легочное кровообращение, а также деформации и напряжения, возникающие в легочной ткани.

Таким образом, исследования механизмов действия невесомости на регуляцию дыхания также не теряют своей актуальности, так как регуляция дыхания играет основную роль в подстройке вентиляции легких человека к метаболическим запросам и изменениям парциального давления CO_2 (PCO_2) в конечной порции выдоха.

Кроме того, в последнее время активно публикуются данные, связанные с влиянием хронической прерывистой гипоксии на регуляцию дыхания, изменениями, возникающими при апноэ во время сна. Хорошо известно, что в ходе космического полета у человека меняется качество сна и регуляция дыхания. Например, в исследованиях с участием астронавтов на Neurolab (Space Transport System (STS)-90) обнаружили, что продолжительность ежедневного сна по сравнению с предполетными данными сокращается. С другой стороны, физиологические изменения, вызванные микрогравитацией, могут способствовать стойкому дефициту сна, испытываемому во время реальных космических миссий.

Известно, что периодическое краткосрочное воздействие гипоксии может быть следствием хронической симпатической активности, гипертензии или повышенной хемочувствительности у пациентов с синдромом остановки дыхания во сне. С целью повышения вентиляции в условиях гипоксии неоднократно предлагалось увеличивать CO_2 в дыхательной газовой смеси (ДГС) (Малкин и др., 1969, Маршак, 1969). Были рассчитаны оптимальные PCO_2, обеспечивающие эффективное усиление вентиляции на соответствующие степени гипоксии (Бреслав и др., 1977). Наиболее удобным методом для исследования этих механизмов является метод возвратного дыхания (ВД) (Read, 1967). При этом устройств для таких исследований серийно не выпускается. Ранее для исследования ВР использовался мешок для ВД, заключенный в жесткий контейнер, сообщающийся с внешней атмосферой через датчик потока. Такая конструкция позволяет избежать образования конденсата из выдыхаемого воздуха. С 2012 г. исследования ВР проводилось с помощью разработанного в нашей лаборатории аппаратно-программного комплекса (АПК). Нами предлагается использовать АПК в клинике в целях: 1) оценки ВР у больных с центральным апноэ сна (ЦАС) и синдромом обструктивного апноэ сна (ОАС) в состояниях сна и бодрствования; 2) для оценки порога апноэ у больных ЦАС; 3) для определения и создания оптимальных PCO2 в ДГС для усиления ВР при развитии критической гипоксемии в состоянии сна у больных ОАС и ЦАС с помощью искусственных ДГС и контура ВД. Сначала испытуемый в состоянии покоя дышит в АПК 3–5 мин., далее контур АПК переключается на режим ВД, т.е. испытуемый выдыхает и вдыхает воздух из закрытого контура. Исследование продолжается то тех пор пока максимальное парциальное давление CO_2 достигает 60–65 мм рт. ст. или вплоть до отказа испытуемого продолжать тест. При проведении исследования «до отказа» метод позволяет определить индивидуальную переносимость больших кратковременных концентраций CO_2.

В частности, наши эксперименты с ВД в АНОГ и в СИ показали достоверные изменения ВР на гипоксию и гиперкапнию.

Первое исследование в 2015 г. описывает влияние АНОП тела на ВР на CO_2 (SVRCO2). Установили, что при ВД гипоксически-гиперкапнической ДГС реакция дыхательного объема (ДО) на CO_2 (SVTRCO2) в положении сидя (0,067 ± 0,006 л/мм рт. ст.) достоверно ($p < 0,01$) ниже, чем SVTRCO2 в АНОП (0,093

± 0,007 л/мм рт. ст.). Установили, что при ВД гипероксической ДГС SVTRCO2 в положении сидя (0,044 ± 0,014 л/ мм рт. ст.) ($p < 0,1$) ниже, чем SVTRCO2 в АНОП (0,055 ± 0,013 л/мм рт.ст.).

Второе исследование 2022 г. описывает влияние 21-суточной СИ тела на ВР на CO_2. SVRCO2 и SVTRCO2 исследовали в диапазоне 45–60 мм. рт. ст PETCO2. Испытуемые дышали ДГС с высоким PO2, поэтому реакция на гипоксию отсутствовала. Установили, что SVTRCO2 на 13-е (0,082 ± 0,022 л/мм рт. ст.) и 19-е (0,078 ± 0,020 л/мм рт. ст.) сутки СИ достоверно (здесь и далее $p < 0,05$) больше, чем SVTRCO2 в фоне (0,059 ± 0,022 л/мм рт. ст.), и на 13-ые сутки СИ достоверно больше, чем на 8-е (0,062 ± 0,017 л/мм рт. ст.) сутки СИ. Обнаруженное снижение трансфер-коэффициента (КСО) во время и после СИ может быть вызвано утолщением альвеолярно-капиллярной мембраны. Более выраженный рост ДО по сравнению с ростом вентиляции может быть вызван увеличением сопротивления дыханию в АНОП и СИ. Рост сопротивления может быть вызван снижением ФОЕ (в среднем на 1,15 ± 0,24 л). Аналогичное уменьшение ФОЕ обнаружено в СИ.

В 2024 г. провели исследовали влияние 21-суточной АНОГ на ВР к CO_2, измеренную методом ВД. В частности, перед, в течение АНОГ исследовали ВР на CO_2 (SVRCO2) и реакцию ДО на CO_2 (SVTRCO2) на диапазоне PETCO2 от 45 до 60 мм. рт. ст. Испытуемые дышали газовой смесью с высоким содержанием O_2, поэтому реакция на гипоксию отсутствовала. Значение «точки апноэ» (т.е. значений PCO2, соответствующих нулевой вентиляции) у 3 испытуемых из 4 было больше, чем в фоне. Закономерных изменений вентиляционной чувствительности SVTRCO2 не выявлено. Таким образом, в ходе 21-суточной АНОГ изменение вентиляционной чувствительности к CO_2 выражено меньше, чем изменение точки апное. Мы полагаем, что в условиях КП анализ реакции ДО на CO_2 будет более информативным по сравнению с анализом ВР. Успешное применение метода оценки чувствительности дыхания человека к CO_2 в 21-суточной АНОГ позволяют рекомендовать их для дальнейших исследований, в том числе и в условиях реальной микрогравитации.

Таким образом, метод оценки ВР на CO_2 и АПК успешно применены в наземных экспериментах и могут быть рекомендованы для применения в МГ. Вероятно, в условиях МГ анализ реакции ДО на CO_2 будет более информативным по сравнению с анализом ВР.

Работа поддержана программой фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН (тема FMFR-2024-0038).

HUMAN VENTILATION RESPONSE TO HYPOXIA AND HYPERCAPNIA MEASUREMENT IN THE FIELD OF AEROSPACE PHYSIOLOGY AND MEDICINE

Ermolaev E.S., Dyachenko A.I., Shulagin Yu.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

razzz87@mail.ru

The study of the hemodynamic and the ventilatory regulation mechanisms during space flights is a complex problem, associated with the specifics of the flight experiments organization. Dry immersion (DI) and antiorthostatic hypokinesia (AOHK) – are adequate models for the microgravity (MG) physiological effects simulation on the Earth.

For example, under prolonged AOHK conditions there is a body fluids redistribution in the cranial direction and an increased blood pressure in the cerebral vessels, which can lead to cerebral disorders and cognitive functions deterioration.

It is known that the volumes of the lungs, the shape of the chest and lungs, pulmonary blood flow and the lung tissue stress & deformation distribution are changing under DI and AOHK conditions. However, these MG simulation models do not reproduce the real MG effects on pulmonary circulation, as well as lung tissue deformation & stress redistribution.

Thus, studies of the mechanisms of the weightlessness effect on the breathing regulation do not lose relevance, since the breathing regulation plays a major role in human lung ventilation adjustment to metabolic demands and PETCO2 changes.

Moreover, recently data related to chronic intermittent hypoxia influence on the breathing regulation and other changes occurring during sleep apnea are actively published. It is well known that a human's sleep quality and breathing regulation are changing during space flight. For example, it was found, that daily sleep duration was reduced compared to pre-flight data in a study with astronauts on Neurolab (Space Transport System (STS)-90). On the other hand, during real space missions, MG induced physiological changes may contribute to the persistent sleep deficit.

It is known that chronic sympathetic activity, hypertension, or an increased chemosensitivity in patients with sleep apnea may be the result of intermittent short-term hypoxia exposure. In order to optimize the ventilation in hypoxic conditions, it has been repeatedly proposed to increase CO_2 in the breathing gas mixture (BGM) (Malkin et al., 1969, Marshak, 1969). Optimal PO_2 were calculated to effectively enhance the ventilation to the corresponding degrees of hypoxia (Breslav & Isaev, 1977).

The most suitable method for VR mechanisms studying is the rebreathing (RB) method (Read, 1967). However, there are no mass-produced specific devices for such study measurements. Earlier a rebreathing bag enclosed in a rigid container communicating with the outside atmosphere via a flow sensor was used to study measuring of VR. This design prevents the condensation formation due to exhaled air. Since 2012, VR study measurement has been conducted by hardware and software complex (HSC) developed in our laboratory. We propose a hardware and software complex (HSC) for the following clinical use: 1) VR evaluation in patients with central sleep apnea (CSA) and obstructive sleep apnea syndrome (OSAS) during sleep and wakefulness 2) to detect the apnea threshold in patients with CSA 3) for optimal gas mixtures calculation to enhance VR to critical hypoxemia during sleep in patients with CSA and OSAS using HSC with BGM. First, the patient breathes at rest with atmosphere air via HSC during 3-5 minutes, then the HSC switches to the RB mode, that is the subject exhales and inhales gas mixture from a closed circuit. The study continues until the maximum partial pressure of CO_2 reaches 60–65 mm Hg or until the subject refuses to continue the test. Conducting a "to subject's refuse" test, the method allows to determine individual tolerance to short-term acute hypercapnia. VR and tidal volume reaction (VTR) are measured by describe method. In particular our RB studies with HSC in AOHK and DI showed reliable changes in VR and VTR to hypoxia and hypercapnia.

Our first studies in 2015 describes the effect of body posture (AOHK experiments) on VR to hypercapnia (SVRCO2). We found that VTR to hypoxic-hypercapnic exposure (SVTRCO2) in upright sitting position (0.067 ± 0.006 l/mmHg) statistically significant ($p < 0.01$) lower, in comparison with SVTRCO2 in AOHK (0.093 ± 0.007 l/mmHg). We found, that VTR to hyperoxic-hypercapnic exposure (SVTRCO2) in upright sitting position (0.044 ± 0.014 l/mmHg) ($p < 0.1$) lower, in comparison with SVTRCO2 in AOHK (0.055 ± 0.013 l/mmHg).

Our next study in 2022 describes effect of 21-day DI on VR and VTR to CO_2. SVRCO2 and SVTRCO2 were studied in the PETCO2 range of 45–60 mmHg. The subjects breathed with hyperoxic BGM, thus VR and VTR to hypoxia was eliminated. We found that SVTRCO2 on 13-th (0.082 ± 0.022 l/mmHg) and 19-th (0.078 ± 0.020 l/mmHg) days of DI statistically significant (hereinafter $p < 0,05$) higher, than SVTRCO2 before exposure (0.059 ± 0.022 l/mmHg), and on 13-th day of DI statistically significant higher, than on 8-th (0.062 ± 0.017 l/mmHg) day of DI. We found a decrease in the transfer coefficient (KCO) during and after DI, and this may be related to the alveolar-capillary membrane thickening. A noticeable tidal volume increase in comparison with total ventilation may be a result of increased breathing resistance in AOHK and DI conditions. A breathing resistance increase may be result of FRV decrease (by an average of 1.15 ± 0.24 l). A similar decrease in FRC was found during DI

In 2024 we studied effects of 21-day AOHK on VR to CO_2, measured by the RB method. In particular we measured VTR (SVTRCO2) and VR (SVRCO2) in the PETCO2 range of 45–60 mmHg before, during and after AOHK. The subjects breathed with hyperoxic BGM, thus VR and VTR to hypoxia was eliminated. The "apnea point" (i.e. the PCO2 values at zero ventilation) was higher during AOHK than before in 3 out of 4 subjects. No significant changes in SVRCO2 were detected. We mentioned that during the 21-day AOHK the SVRCO2 change was less noticeable than the change in the "apnea point". We believe that during space flights, SVTRCO2 parameter will be more informative compared to the SVRCO2 parameter. Based on successful application of the human respiration sensitivity to CO_2 method during 21-day AOHK experiment, we are able to recommend these methods for the further research, including real MG experiments.

Conclusion: thus, the rebreathing method of human respiration sensitivity to CO_2 measurement, as well as developed in our laboratory HSC has been successfully applied in experiments and can be recommended for use in microgravity experiments. Probably, microgravity experiments, the tidal volume response to CO_2 will be more informative parameter compared to ventilation response to CO_2.

Supported by basic research program IMBP RAS (FMFR-2024-0038).

ЗАКВАСКА «ПРОКСИМИЛК» НА ОСНОВЕ КУЛЬТУР, ИЗУЧЕННЫХ В ЦР «ПРОКСИБИОТИК», ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ МИКРОБИОТЫ ЧЕЛОВЕКА В ИЗОЛЯЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ SIRIUS-23

Жабанос Н.К.[1], Ильин В.К.[2], Бирюк Е.Н.[1], Фурик Н.Н.[1], Гусаков Г.В.[1], Усанова Н.А.[2], Смирнов Ю.И.[2], Поддубко С.В.[2], Двоежёнова Е.А.[1], Шенявская Е.М.[1], Лабкова А.А.[1], Романович Н.С.[1], Кравченко Н.С.[1]

[1]Институт мясомолочной промышленности, Минск, Беларусь
[2]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

nzhabanos@tut.by, nzhabanos@gmail.com

Воплощение в реальность дальних космических полетов и освоение космических объектов в перспективе ближайших десятилетий является одним из направлений развития космонавтики. Научные работы последних десятилетий по оценке микробиоты человека раскрыли как многообразие микроорганизмов микробиоты кишечника, в том числе некультивируемых, так и их функции ранее неизвестные. При анализе научных публикаций отмечается, что изменения микрофлоры кишечника космонавтов во время длительного пребывания в условиях космического полета являются общими для случаев пребывания человека в экстремальных ситуациях, при этом пусковым механизмом развития дисбактериоза является снижение количества бифидобактерий и лактобацилл. Разными исследованиями отмечается, что степень выраженности дисбиотической перестройки микрофлоры в значительной степени определяется исходным состоянием микроэкологического статуса, что обосновывает необходимость его поддержания и стабилизации, в том числе с применением продуктов питания, содержащих комплекс пробиотических микроорганизмов.

В рамках ЦР «Проксибиотик» изучены штаммы микроорганизмов Республиканской коллекции промышленных штаммов заквасочных культур и их бактериофагов РУП «Институт мясо-молочной промышленности» (г. Минск, Республика Беларусь): Lb. helveticus1191 TL-AF и 2389 TL-AV, *Lb. acidophilus* 2649 TL-O, *Bifidobacterium longum* 432 OR, *Bifidobacterium adolescentis* 2627 B-O, *Bifidobacterium lactis*1200 OR и 2631 B-O, *Bifidobacterium bifidum* 433 OR, *Lb. casei* 1188 ML-OF и 1196ML-OFR, *Lb. paracasei* 2639 ML-O, *Lb. rhamnosus* 2637 TL-O и 2641 TL-O, *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* 2113 St-AV, 1145 St-AV, 2101 St-AV, экспонированные в условиях МКС. Культуры выделены и прошли медико-биологическую оценку в Республике Беларусь, показали эффективность при коррекции микробиоценоза ЖКТ в составе кисломолочных продуктов.

Результаты экспериментов ЦР «Проксибиотик» объединили данные о хранении лиофилизированных культур микроорганизмов в стеклянных ампулах, экспонировании культур микроорганизмов на агаризованных питательных средах в пластиковых пробирках при температурных режимах, близких к оптимальным для культур, изготовлении образцов кисломолочного продукта с комбинациями микроорганизмов непосредственно на борту МКС. Исследовались образцы, полученные по циклограмме полета в наземных условиях и экспонированные на МКС. Для проведения экспериментов по получению образцов кисломолочных продуктов использована научная аппаратура (НА) «Пробиовит», для экспонирования образцов в лиофилизированном состоянии и на агаризованных средах – укладка «Биоэкология».

Систематизация и анализ результатов экспериментальных исследований позволили установить сохранность основных свойств и характеристик пробиотических микроорганизмов и их комбинаций при культивировании в условиях МКС, что определяет перспективу использования изученных штаммов для создания закваски и следующим этапом сухого молочного продукта с пробиотическими микроорганизмами для ферментации.

Результаты ранее проведенных клинических апробаци кисломолочных продуктов, содержащих данные штаммы в различных комбинациях, по итогам которых установлена лечебно-профилактическая направленность продуктов, определяемая уникальностью свойств культур микроорганизмов, позволили прогнозировать положительное воздействие на состав микробиоты ЖКТ разработанной закваски (препарата) «ПроксиМилк».

Технология сухой закваски пробиотических микроорганизмов (препарата) «ПроксиМилк» позволяет получить в 1 грамме не менее 3 × 109 клеток молочнокислых микроорганизмов, в том числе не менее 5 × 108 лактобацилл и не менее 1 × 107 клеток бифидобактерий. В саше содержалось 2 грамма лиофилизированного препарата, включающего вышеназванные штаммы микроорганизмов.

В изоляционном эксперименте SIRIUS-23 саше с препаратом «ПроксиМилк» использовались испытателями сразу после вскрытия, за 20–30 минут до приема пищи. Содержимое пакета растворяли в 30-50 мл воды (температурой не выше плюс 37 °С, перемешивали и выпивали сразу после растворения или прини-

мали в сухом виде и запивали питьевой водой. Использовали по 1 пакету 3 раза в сутки с 298-х по 325-е сутки изоляции. Пакеты хранили в холодильнике.

Отбор проб для микробиологических исследований проводили двукратно: на 297-е сутки и 325-е сутки. Для исследования кишечной микрофлоры у испытателей отбирались пробы кала после естественной дефекации, которые собирались в стерильный герметичный контейнер с плотно закрывающейся крышкой. Биоматериал отшлюзовывался и хранился в холодильнике при плюс 4 °С не более 4 часов до посева.

Изучено влияние приема сухой закваски «ПроксиМилк» на видовое разнообразие микробиоты испытателей в годовом изоляционном эксперименте SIRIUS-23, отмечено положительное влияние на уровень полезной микрофлоры ЖКТ. Использование «ПроксиМилк» позволило стабилизировать показатели микробиоценозов кишечника, кожных покровов, полости рта в период приема. Результаты исследований эксперимента «ПроксиМилк» позволяют сделать вывод о перспективности использования закваски «ПроксиМилк», включающей в составе комплекс пробиотических штаммов молочнокислых микроорганизмов и бифидобактерий в лиофилизированном состоянии: *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* 2113 St-AV, 1145 St-AV, 2101 St-AV, *Lactobacillus acidophilus* 2649 TL-O, *Lactobacillus helveticus* 1191 TL-AF и 2389 TL-AV, *Lactobacillus casei* 1188 ML-OF и 1196ML-OFR, *Lactobacillus paracasei* 2639 ML-O, *Lactobacillus rhamnosus* 2637 TL-O и 2641 TL-O, *Bifidobacterium longum* 432 OR, *Bifidobacterium lactis* 1200 OR и 2631 B-O *Bifidobacterium adolescentis* 2627 B-O в качестве компонента профилактического питания для поддержания микробиоты человека в искусственной среде обитания.

Перспективное использование разработанной бактериальной закваски «ПроксиМилк» предполагается для поддержания здоровья и эффективной жизнедеятельности человека в различных экстремальных условиях проживания: для штатного использования при подготовке космонавтов к полету, во время полета, в рамках реабилитации после возвращения на Землю, на пилотируемых космических аппаратах в условиях длительных полетов и лунных базах, в длительных наземных экспедициях, для специализированного питания и др.

Авторы выражают благодарность за активное участие в постановке и выполнении эксперимента «Проксимилк» участникам – испытателям международного годового изоляционного эксперимента SIRIUS-23.

Авторы выражают благодарность за успешное выполнение ЦР «Проксибиотик» на борту МКС Марине Витальевне Василевской и Олегу Викторовичу Новицкому – членам экипажа экспедиции ЭП-21.

Договор № 1955БА 5-23/2023-31-094 от 14 декабря 2023 года с НАН Беларуси.

APPLICATION OF "PROXYMILK" STARTER BASED ON CULTURES STUDIED AT THE "PROXYBIOTIC" SPACE EXPERIMENT IN THE SIRIUS-23 ISOLATION EXPERIMENT

Zhabanos N.K.[1], Ilyin V.K.[2], Biruk A.M.[1], Furik N.M.[1], Gusakov G.V.[1], Usanova N.A.[2], Smirnov Yu.I.[2], Poddubko S.V.[2], Dvoezhonova E.A.[1], Shenyavskaya E.M.[1], Labkova A.A.[1], Romanovich N.S.[1], Kravchenko N.S.[1]

[1]Institute of Meat and Dairy Industry, Minsk, Belarus
[2]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

nzhabanos@tut.by, nzhabanos@gmail.com

Deep space and planets exploration in the upcoming decades is the main goal for the space industry. Scientific studies conducted over the past decades to assess the human microbiota have revealed both the diversity of microorganisms in the gut microbiota, including uncultivable ones, and their previously unknown functions. An analysis of scientific publications shows that changes in the intestinal microflora of astronauts during long-term space flight are common in cases of human exposure to extreme conditions. In this case the trigger for the development of dysbiosis is a decrease in the number of bifidobacteria and lactobacilli. Various studies have noted that the severity of dysbiotic changes in the microflora is largely determined by the initial state of the microecological status, which justifies the need to maintain and stabilize it, including the use of foods containing a complex of probiotic microorganisms.

Different strains were exposed under ISS conditions in the "Proxybiotic" space experiment. The strains for the experiment were taken from the *Republican Collection of Industrial Strains of Starter Cultures and Their Bacteriophages* of the Institute of Meat and Dairy Industry (Minsk, Republic of Belarus) were studied: *Lb. helveticus* 1191 TL-AF and 2389 TL-AV, *Lb. acidophilus* 2649 TL-O, *Bifidobacterium longum* 432 OR, *Bifidobacterium adolescentis* 2627 B-O, *Bifidobacterium lactis*1200 OR and 2631 B-O, *Bifidobacterium bifidum* 433 OR, *Lb.casei*

1188 ML-OF and 1196ML-OFR, *Lb. paracasei* 2639 ML-O, *Lb. rhamnosus* 2637 TL-O and 2641 TL-O, *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* 2113 St-AV, 1145 St-AV, 2101 St-AV. The strains were included into fermented milk products and demonstrated their effectiveness in correcting the gastrointestinal tract microbiocenosis. The cultures were isolated and underwent medical and biological evaluation in the Republic of Belarus.

The "Proxybiotic" space experiment at the ISS consisted of microorganisms lyophilized cultures storage in glass ampoules, the exposure of microorganisms cultures on agarized nutrient media in plastic test tubes at temperatures close to optimal for the cultures, and the production of fermented milk products samples with combinations of microorganisms directly on board the ISS. The same strains were exposed to space flight temperature cycle on the Earth. The space scientific equipment "Probiovit" was used to conduct experiments on obtaining samples of fermented milk products, and the "Bioecology" was used to expose onboard the ISS samples in a lyophilized state and on agar medium.

Systematization and analysis of the experimental research results made it possible to establish that the preservation of the main properties and characteristics of probiotic microorganisms and their combinations cultivated in the conditions of the ISS. It determines the prospect of using the studied strains to create a starter culture, and further a dry milk product with probiotic microorganisms for fermentation.

The results of previous clinical trials of fermented milk products containing these strains in various combinations established the therapeutic and preventive properties of the products due to the unique characteristics of the microbial cultures. It made possible to predict a positive effect of the developed starter culture (preparation) "ProxyMilk" on the composition of the gastrointestinal microbiota.

In the SIRIUS-23 samples for microbiological testing were collected twice: on day 297 and day 325. To study the intestinal microflora, stool samples were collected from the test subjects after natural defecation and placed in a sterile, airtight container with a tightly sealed lid. The biomaterial was transferred and stored in a refrigerator at +4 °C for no more than 4 hours before inoculation.

The effect of taking "ProxyMilk" dry starter culture on the species diversity of test subjects' microbiota in the SIRIUS-23 annual isolation experiment was studied, and a positive effect on the level of beneficial microflora in the gastrointestinal tract was noted. The use of "ProxyMilk" stabilized the indicators of the intestinal, skin, and oral microbiota during the intake period. The results of the "ProxyMilk" experiment suggest that "ProxyMilk", which contains a complex of probiotic strains of lactic acid microorganisms and bifidobacteria in a lyophilized state, has promising prospects for use *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* 2113 St-AV, 1145 St-AV, 2101 St-AV, *Lactobacillus acidophilus* 2649 TL-O, *Lactobacillus helveticus* 1191TL-AF и 2389 TL-AV, *Lactobacillus casei* 1188 ML-OF и 1196ML-OFR, *Lactobacillus paracasei* 2639 ML-O, *Lactobacillus rhamnosus* 2637 TL-O и 2641 TL-O, *Bifidobacterium longum* 432 OR, *Bifidobacterium lactis* 1200 OR и 2631 B-O *Bifidobacterium adolescentis* 2627 B-O as a component of preventive nutrition to maintain human microbiota in an artificial environment.

The prospective use of the developed bacterial starter culture "ProxyMilk" is intended to maintain human health and effective life activity in various extreme living conditions: for routine use in preparing astronauts for flight, during flight, as part of rehabilitation after returning to the Earth, on manned spacecraft during long flights and on lunar bases, on long ground expeditions, for specialized nutrition, etc.

The authors express their gratitude for the active participation in the preparation and execution of the Proxymilk experiment to the participants of the international annual SIRIUS-23 isolation experiment. The authors express their gratitude for the successful execution of the Proxibiotic on board the ISS to Marina Vasilevskaya and Oleg Novitsky, members of the EP-21 expedition crew.

ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ ПРИ ГИПОТЕРМИИ: КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ, ВАЛИДАЦИЯ И РОЛЬ ПОДОГРЕТЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Жеребцова К.С., Матюшев Т.В., Шеина М.А., Чередников Р.Ф., Козлов М.Л.

ЦНИИ ВВС Минобороны России, Москва, Россия

Zherebtsova.Kseniya2003@yandex.ru

Термин «холодовая травма» обозначает комплекс патологических состояний организма человека, возникающий вследствие длительного воздействия низких температур окружающей среды либо сочетания низкой температуры с высокой влажностью воздуха и ветром. Данное явление представляет существенную угрозу здоровью специалистов различных профессий, работающих в регионах с суровыми климати-

ческими условиями (например, Арктика). Холодовые травмы характеризуются не только высоким уровнем распространенности среди указанных групп населения, но также сложностями при объективной диагностике текущего теплового состояния пострадавших лиц, выбора оптимальных методов терапии и значительным периодом временной нетрудоспособности, обусловленной продолжительным восстановительным процессом после повреждения тканей.

Однако оценка температуры тела и оказание помощи при гипотермии затруднены из-за сильных колебаний внешних условий. Дополнительно следует учитывать риск развития тяжелых повреждений тканей и органов, приводящих к критическим нарушениям гомеостаза вплоть до наступления летального исхода. В таких условиях натурные эксперименты становятся менее целесообразными, ввиду этого широкое распространение получает математическое моделирование.

Разработка адекватных математических моделей физиологической терморегуляции осложняется недостатком данных о локализации эффекторных зон, пороговых значениях температуры и эффективности регуляторных механизмов. В связи с этим создание адекватной математической модели процессов терморегуляции человека в условиях воздействия холодового микроклимата представляет актуальную медико-биологическую проблему.

Таким образом, целью исследования являлось комплексное изучение процессов теплообмена человеческого организма в экстремальных климатических условиях низких температур на основе математической модели физиологических механизмов терморегуляции.

Для достижения цели были последовательно выполнены следующие задачи:

1. Разработано формализованное описание теплообменных процессов в условиях пониженных температур, учитывающее характер физиологических реакций, а также процессов массопереноса дыхательных газов.

2. Разработана и программно реализована в среде программирования MatLab математическая модель физиологической терморегуляции человека при низких температурах окружающей среды.

3. Проведены вычислительные эксперименты по тепловым процессам в условиях общего переохлаждения человека.

4. Разработан алгоритм расчета теплофизических свойств кислородно-гелиевой газовой смеси, позволяющий учитывать ее влияние на респираторный теплообмен организма.

Разработанная модель физиологической терморегуляции базируется на модели пассивного теплообмена, разработанной сотрудниками НИИЦ (АКМ и ВЭ, г. Москва) ЦНИИ ВВС (Минобороны России). Базовая пассивная модель включает два сегмента и центральный резервуар крови. Она учитывает процессы химической теплопродукции, механизмы физической теплопередачи внутри тела и теплообмен с внешней средой конвекцией, излучением, испарением и кондукцией, а также влияние защитных свойств одежды. Изменения температуры отдельных участков описывались системой обычных дифференциальных уравнений.

Однако, базовая пассивная модель теплообмена не учитывала нарушение теплового баланса при воздействии низких температур, поэтому разрабатываемая модель была расширена за счет моделей активных механизмов – вазоконстрикторной реакции кровообращения и холодовой дрожи, представленных алгебраическими уравнениями.

Реакция объемной скорости кровотока строилась на основе концепции регулирования по центральной температуре и средневзвешенной температуре кожи. Значения температур уставки были получены обработкой экспериментальных данных в системе Statistica. Уравнение для холодовой дрожи заимствовано из работ J. Stolwijk.

В рамках работы проведен вычислительный эксперимент, состоящий из 60-минутного воздействия температуры окружающей среды 17 °C и 12 °C на человека. Из полученных результатов выявлено, что длительное воздействие холода приводит к общему переохлаждению человека и дальнейшему снижению температуры тела несмотря на включение механизмов терморегуляции и наличие теплоизоляции одежды.

Значительные потери тепла происходят через верхние дыхательные пути. Величина респираторного теплового потока определялась температурой нагрева воздухоносной среды и термодинамическими характеристиками дыхательной смеси. Основные параметры теплопотерь при испарении и подогреве воздуха – это диффузионное и термическое числа Нуссельта, соответственно характеризующее интенсивность массообмена и эффективность передачи теплоты конвекцией.

Оценка влияния температурных условий и химического состава дыхательных газов на параметры респираторного теплообмена осуществлялась посредством моделирования процесса вентиляции легких двумя различными газовыми смесями — атмосферным воздухом и сухой кислородно-гелиевой смесью (КГС), подаваемыми при фиксированных значениях температуры, соответствующих уровням 45 °C и 80 °C соответственно. При дыхании смесями с температурой 45 °C тепловой поток отрицательный, то есть преобладает

теплоотдача из-за затрат на увлажнение смеси. При температуре нагрева 80 °С для обеих газовых сред наблюдается положительный тепловой поток из-за увеличения конвективной теплоотдачи респираторного теплообмена, при этом его величина от КГС превышает значение тепла от воздуха более чем в 3,5 раза.

Таким образом, в процессе исследования были выявлены и программно формализованы функциональные взаимосвязи, определяющие уровень термогенеза при гипотермии, обусловленной мышечной дрожью и вазоконстрикцией, путем модификации традиционной методики J. Stolwijk. Проведенные вычислительные эксперименты, имитирующие холодовые воздействия, показали, что полученные расчетные значения воспроизводят характер физиологических реакций в условиях общего переохлаждения. Анализ результатов моделирования также свидетельствуют о том, что показатели респираторного теплообмена при дыхании подогретыми газовыми смесями зависят как от температуры дыхательной среды, так и от ее состава, при этом сухие КГС предпочтительны при высокотемпературных режимах.

THERMOREGULATION IN HYPOTHERMIA: COMPLEX MODEL, VALIDATION AND THE ROLE OF HEATED BREATHING MIXTURES

Zherebtsova K.S., Matyushev T.V., Sheina M.A., Cherednikov R.F., Kozlov M.L.

Center Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

Zherebtsova.Kseniya2003@yandex.ru

The term «cold injury» denotes a complex of pathological conditions of the human body arising from prolonged exposure to low ambient temperatures or a combination of low temperature with high air humidity and wind. This phenomenon poses a significant threat to the health of specialists of various professions working in regions with harsh climatic conditions (e.g., the Arctic). Cold injuries are characterized not only by a high level of prevalence among these population groups, but also by difficulties in objective diagnosis of the current thermal state of injured persons, selection of optimal methods of therapy and a significant period of temporary disability due to the prolonged recovery process after tissue damage.

However, the assessment of body temperature and assistance in hypothermia are difficult due to strong fluctuations in external conditions. In addition, the risk of severe tissue and organ damage leading to critical homeostasis disorders up to lethal outcome should be taken into account. Under such conditions, full-scale experiments become less expedient, therefore mathematical modeling becomes widespread.

The development of adequate mathematical models of physiological thermoregulation is complicated by the lack of data on the localization of effector zones, temperature thresholds, and the efficiency of regulatory mechanisms. In this connection, the creation of an adequate mathematical model of human thermoregulation processes under the influence of cold microclimate is an urgent medical and biological problem.

Thus, the aim of the study was a comprehensive study of heat exchange processes of the human organism in extreme climatic conditions of low temperatures on the basis of a mathematical model of physiological mechanisms of thermoregulation.

To achieve the goal, the following tasks were consistently performed:

1. A formalized description of heat exchange processes in conditions of low temperatures was developed, taking into account the nature of physiological reactions, as well as the processes of mass transfer of respiratory gases.

2. A mathematical model of human physiological thermoregulation at low ambient temperatures has been developed and programmatically implemented in the MatLab programming environment.

3. Computational experiments on thermal processes in conditions of general hypothermia of a human have been carried out.

4. An algorithm for calculating the thermophysical properties of oxygen-helium gas mixture has been developed, which allows to take into account its influence on the respiratory heat exchange of the organism.

The developed model of physiological thermoregulation is based on the model of passive heat exchange developed by employees of the Research and Development Center (ASM and ME, Moscow) of the Central Research Institute of the Air Force (Ministry of Defense of Russia). The basic passive model includes two segments and a central blood reservoir. It takes into account the processes of chemical heat production, mechanisms of physical heat transfer inside the body and heat exchange with the external environment by convection, radiation, evaporation and conduction, as well as the influence of protective properties of clothing. Temperature changes in individual areas were described by a system of ordinary differential equations.

However, the basic passive model of heat exchange did not take into account the violation of heat balance under the influence of low temperatures, so the developed model was extended by models of active mechanisms - vasoconstrictor reaction of blood circulation and cold shivering, represented by algebraic equations.

The response of volumetric blood flow velocity was based on the concept of regulation by central temperature and weighted average skin temperature. The values of set point temperatures were obtained by processing experimental data in Statistica. The equation for cold shivering was borrowed from the works of J. Stolwijk.

As part of the work, a computational experiment consisting of a 60-minute exposure of humans to ambient temperatures of 17 °C and 12 °C was performed. From the results obtained it was found that prolonged exposure to cold leads to a general hypothermia of the person and a further decrease in body temperature despite the inclusion of thermoregulation mechanisms and the presence of thermal insulation of clothing.

Significant heat loss occurs through the upper respiratory tract. The magnitude of respiratory heat flux was determined by the temperature of heating of the air-bearing medium and thermodynamic characteristics of the respiratory mixture. The main parameters of heat loss during evaporation and heating of air are diffusion and thermal Nusselt numbers, respectively characterizing the intensity of mass transfer and the efficiency of heat transfer by convection.

The influence of temperature conditions and chemical composition of respiratory gases on respiratory heat exchange parameters was assessed by modeling the process of lung ventilation with two different gas mixtures - atmospheric air and dry oxygen-helium mixture (OHM) supplied at fixed temperature values corresponding to the levels of 45 °C and 80 °C, respectively. When breathing with the 45 °C mixtures, the heat flux is negative, i.e., heat transfer is dominant due to the cost of humidification of the mixture. At a heating temperature of 80 °C, a positive heat flux is observed for both gaseous media due to an increase in convective heat transfer of respiratory heat transfer, with its value from OHM exceeding the value of heat from air by more than 3.5 times.

Thus, in the process of the study we have revealed and programmatically formalized the functional relationships that determine the level of thermogenesis during hypothermia caused by muscle tremor and vasoconstriction by modifying the traditional methodology of J. Stolwijk. The performed computational experiments simulating cold effects showed that the obtained computational values reproduce the character of physiological reactions under conditions of general hypothermia. The analysis of modeling results also indicates that respiratory heat exchange indices during breathing heated gas mixtures depend on both the temperature of the breathing medium and its composition, with dry OHM being preferred in high-temperature regimes.

РОЛЬ НИКОТИНОВЫХ ХОЛИНОРЕЦЕПТОРОВ В МОДУЛЯЦИИ ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЙТРОФИЛЬНЫХ ГРАНУЛОЦИТОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ В ПЕРИОД 12-МЕСЯЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЧЕЛОВЕКА В ИСКУССТВЕННО РЕГУЛИРУЕМОЙ ЗАМКНУТОЙ СРЕДЕ ОБИТАНИЯ

Жирова Э.А., Рыкова М.П., Шмаров В.А., Пономарёв С.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

elinazirova5@gmail.com

Введение. Опыт космической иммунологии, накопленный к настоящему времени, свидетельствует о том, что под влиянием факторов космического полета происходят негативные сдвиги в функционировании системы иммунитета человека. В ходе проведенных исследований было выявлено, что у человека снижается активность противовирусного ответа, изменяется количество разных типов TLR на поверхности иммунных клеток, повышается риск развития аллергических реакций. Значительный прогресс в понимании глубинных механизмов адаптационных процессов, обеспечивающих поддержание гомеостаза систем организма в условиях космического полета, оказался возможным благодаря развитию широких программ наземных модельных исследований, в первую очередь, модельных экспериментов с длительной изоляцией. Комплекс воздействий, связанных с длительным влиянием ограниченного объема, искусственной среды обитания, сенсорной депривации, монотонии и социальной изоляции, представляет собой важный стрессор, способный привести к устойчивой активации симпатической (СНС) и к нарушению балансирующей роли парасимпатической (ПНС) нервной системы. Показано, что устойчивая активация СНС без гомеостатически нормального противодействия ПНС приводит к развитию отклонений в регуляции иммунной системы. Усиление реакций со стороны ПНС может быть перспективным направлением для борьбы с возникающей в период длительной изоляции человека дисрегуляцией иммунной системы. В частности, в области исследований нейроиммунных

взаимодействий выделяется гипотеза холинергического противовоспалительного пути, согласно которой эфферентные нейроны блуждающего нерва, иннервирующего многие внутренние органы, секретируют ацетилхолин, который взаимодействует с никотиновыми холинорецепторами (нХР) иммунных клеток. В данном исследовании в качестве специфичного вещества-агониста нХР мы выбрали никотин, который способен связаться со всеми типами нХР. Мы предполагаем, что в условиях длительной изоляции человека наиболее эффективным клеточным звеном гибкости для нейроиммунных взаимодействий могут служить нейтрофильные гранулоциты (НГ), как наиболее быстро реагирующие на воспалительные стимулы клетки, несущие на своей поверхности нХР. Результаты данного исследования открывают совершенно новое научное направление – нейроиммунные взаимодействия в условиях длительной изоляции человека.

Целью данного исследования является изучение влияния 12-месячной изоляции испытателей-добровольцев в гермообъекте на способность нХР, активированных in vitro специфическим агонистом никотином, модулировать фенотипические характеристики НГ периферической крови.

Материалы и методы. Эксперимент с 12-месячный изоляцией SIRIUS-23 был проведен на базе Наземного экспериментального комплекса ИМБП РАН (НЭК) с участием шести испытателей-добровольцев (двое мужчин и четыре женщины) в возрасте от 26 до 37 лет, подписавших Информированное согласие на участие в эксперименте. Программа исследования была одобрена Комиссией по биомедицинской этике при ГНЦ РФ – ИМБП РАН (Протокол № 643 от 07.07.2023). Взятие проб венозной крови проводили натощак в утренние часы, после чего выделяли «чистую» (более 95 %) популяцию НГ из крови методом градиентного центрифугирования в градиенте плотности перколла. НГ инкубировали 2 часа в CO2-инкубаторе при +37 ºС без никотина (контроль) и с никотином в концентрации 100 мкМ (опыт). Фенотип НГ оценивали мультипараметрическим методом цитофлуориметрического анализа с использованием панели моноклональных антител, в состав которой входили моноклональные антитела к CD45, CD14, CD16, CD64, CD23, CD11b, CD18, CD24, CD32, CD36, CD206, CD209, CD54, TLR1, TLR2, TLR4, TLR6. Статистическая обработка результатов проводилась с применением непараметрического критерия Вилкоксона с уровнем значимости <0,05.

Результаты и обсуждение. В фоновом периоде (за 3–5 суток до начала изоляции в НЭК) никотин статистически значимо понижал процент CD11b+, CD64+, CD23+, CD54+, CD209+, CD14+, TLR1+, TLR4+ и TLR6+ субпопуляций НГ, но повышал процент CD16+ и TLR2+ НГ. В период ранней адаптации (7–8-е сутки изоляции) эффект никотина статистически значимо сохранился для CD23+, CD14+, CD16+, TLR1+ и TLR6+ НГ, но для TLR4+ НГ сменился на противоположный. В период поздней адаптации (60-61 сутки изоляции) действие никотина, по сравнению с фоном, оставалось таким же для CD23+, CD54+ и TLR1+ НГ, в то время как процент CD64+ и CD14+ НГ повысился после инкубации клеток с никотином, что оказалось противоположно действию никотина в фоновый период. Кроме того, никотин повысил процент CD36+ НГ, в то время как в фоновый и ранний адаптационный периоды действие никотина на изучаемые клетки выявлено не было. Следует отметить, что в период адаптации к изоляции в НЭК у испытателей наблюдалось уменьшение эффекта никотина на фенотипические характеристики НГ, либо смена на противоположный, либо появление нового эффекта.

Через 6 месяцев изоляции никотин действовал противоположно фоновому эффекту для субпопуляций CD16+ НГ (снижение процента позитивных клеток) и TLR1+ НГ (первое за время эксперимента повышение процента). Непосредственно перед окончанием эксперимента в точке «выход» из НЭК (354-355 сутки) такой же эффект никотина, как в фоновый период, наблюдался для CD209+, CD14+ и TLR1+ НГ, причем для TLR1+ НГ произошла смена эффекта, если сравнивать с 188 сутками. Противоположным по отношению к фоновому обнаруживался эффект никотина для CD64+ и CD36+ НГ (как в период поздней адаптации).

Дополнительным стрессовым воздействием, помимо непосредственно изоляции, для испытателей являлась внекорабельная деятельность (ВКД). Сразу после выполнения методик по ВКД (67 сутки) наблюдалось изменение эффекта никотина, по сравнению с периодом поздней адаптации (60-61 сутки): повышение процента CD11b+, CD23+ и CD54+ НГ, но снижение CD16+, CD14+ и TLR2+ НГ. Кроме того, после еще одного дополнительного стрессового воздействия, 24-часовой депривации сна (93–94-е сутки), было отмечено повышение процента TLR2+ и TLR6+ НГ. Данные результаты свидетельствуют о том, что нХР оказывают модулирующее влияние на миграционную способность НГ (период «ВКД») и потенциал НГ воспринимать неспецифические антигены («ВКД» и депривация сна).

Заключение. Статистически значимое изменение эффекта никотина на поверхностные молекулы НГ у испытателей в течение изоляционного эксперимента свидетельствует о существовании модулирующего механизма нХР, регулирующего процентное содержание определенных CD/TLR субпопуляций НГ и зависящего от времени, проведенного испытателями в изоляции, а также от дополнительных факторов, роль которых в модуляции иммунного ответа еще предстоит выяснить.

Работа выполнена в рамках фундаментальных исследований по базовой тематике РАН № FMFR-2024-0039.

THE ROLE OF NICOTINIC ACETYLCHOLINE RECEPTORS IN THE PHENOTYPIC CHARACTERISTICS MODULATION OF PERIPHERAL BLOOD NEUTROPHIL GRANULOCYTES DURING 12 MONTHS OF HUMAN ISOLATION IN AN ARTIFICIALLY CONTROLLED CLOSED HABITAT

Zhirova E.A., Rykova M.P., Shmarov V.A., Ponomarev S.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

elinazirova5@gmail.com

Introduction. The experience of space immunology accumulated to date indicates that under the influence of space flight factors, negative shifts in the functioning of the human immune system occur. In the course of the studies, it was revealed that the activity of the antiviral response in humans decreases, the number of different types of TLR on the surface of immune cells changes, and the risk of allergic reactions increases. Significant progress in understanding the underlying mechanisms of adaptation processes that maintain homeostasis of the body's systems in space flight conditions has become possible due to the development of extensive programs of ground-based model studies, primarily model experiments with long-term isolation. The complex of effects associated with the long-term influence of a limited volume, an artificial habitat, sensory deprivation, monotony and social isolation is an important stressor that can lead to sustained activation of the sympathetic (SNS) and disruption of the balancing role of the parasympathetic (PNS) nervous system. It has been shown that sustained activation of the SNS without homeostatically normal counteraction by the PNS leads to the development of deviations in the immune system regulation. Strengthening reactions from the PNS may be a promising direction for combating dysregulation of the immune system that occurs during long-term human isolation. In particular, in the field of neuroimmune interactions research, the hypothesis of the cholinergic anti-inflammatory pathway stands out, according to which efferent neurons of the vagus nerve, which innervates many internal organs, secrete acetylcholine, which interacts with nicotinic acetylcholine receptors (nAChRs) of immune cells. In this study, we chose nicotine, which is able to bind to all types of nAChRs, as a specific nAChRs agonist. We assume that under conditions of long-term human isolation, the most effective cellular link of flexibility for neuroimmune interactions may be neutrophilic granulocytes (NGs), as the cells that most quickly respond to inflammatory stimuli and carry nAChRs on their surface. The results of this study open up a completely new scientific direction – neuroimmune interactions in conditions of long-term human isolation.

The aim of this study is to investigate the effect of 12-month isolation of volunteers in a hermetic facility with an artificial habitat on the ability of nAChRs activated in vitro by the specific agonist nicotine to modulate the phenotypic characteristics of peripheral blood NGs.

Materials and methods. The 12-month isolation experiment SIRIUS-23 was conducted at the Ground Experimental Complex (GEC) of the Institute of Medical Problems of the Russian Academy of Sciences with the participation of six volunteers (two men and four women) aged 26 to 37 years who signed an Informed Consent to participate in the experiment. The study program was approved by the Biomedical Ethics Committee of the Scientific Center of the Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (Protocol No. 643 dated July 7, 2023). Venous blood samples were taken on an empty stomach in the morning, after which the «pure» (more than 95%) population of NGs was isolated from the blood by gradient centrifugation in a Percoll density gradient. NGs were incubated for 2 hours in a CO_2 incubator at +37°C without nicotine (control) and with nicotine at a concentration of 100 μM (experiment). The phenotype of NGs was assessed by a multiparametric cytofluorimetric analysis method using a panel of monoclonal antibodies, which included monoclonal antibodies to CD45, CD14, CD16, CD64, CD23, CD11b, CD18, CD24, CD32, CD36, CD206, CD209, CD54, TLR1, TLR2, TLR4, TLR6. Statistical processing of the results was carried out using the nonparametric Wilcoxon test with a significance level of <0.05.

Results and discussion. In the background period (3-5 days before the start of isolation in the GEC), nicotine statistically significantly decreased the percentage of CD11b+, CD64+, CD23+, CD54+, CD209+, CD14+, TLR1+, TLR4+ and TLR6+ NG subpopulations, but increased the percentage of CD16+ and TLR2+ NGs. During the early adaptation period (7–8 days of isolation), the effect of nicotine was statistically significantly preserved for CD23+, CD14+, CD16+, TLR1+ and TLR6+ NGs, but for TLR4+ NGs it changed to the opposite. During the late adaptation period (60-61 days of isolation), the effect of nicotine, compared with the background, remained the same for CD23+, CD54+ and TLR1+ NGs, while the percentage of CD64+ and CD14+ NGs increased after incubation of cells with nicotine, which turned out to be opposite to the effect of nicotine in the background period. In addition, nicotine increased the percentage of CD36+ NGs, while in the background and early adaptation periods, the effect of nicotine on the studied cells was not detected. It should be noted that during the adaptation period to isolation in the GEC, the subjects experienced a decrease in the effect of nicotine on the phenotypic characteristics of NGs, or a change to the opposite, or the appearance of a new effect.

After 6 months of isolation, nicotine had the opposite effect to the background effect for the subpopulations of CD16+ NGs (a decrease in the percentage of positive cells) and TLR1+ NGs (the first increase in the percentage during the experiment). Immediately before the end of the experiment, at the point of «exit» from the GEC (354–355 days), the same effect of nicotine as in the background period was observed for CD209+, CD14+ and TLR1+ NGs, and for TLR1+ NGs there was a change in the effect, compared with 188 days. The opposite effect to the background was found for nicotine for CD64+ and CD36+ NGs (as in the late adaptation period).

An additional stress effect, besides isolation, for the volunteers was extravehicular activity (EVA). Immediately after performing the EVA techniques (day 67), a change in the nicotine effect was observed, compared to the late adaptation period (days 60–61): an increase in the percentage of CD11b+, CD23+ and CD54+ NGs, but a decrease in CD16+, CD14+ and TLR2+ NGs. After another additional stress effect, 24-hour sleep deprivation (days 93–94), an increase in the percentage of TLR2+ and TLR6+ NGs was noted. These results indicate that nAChRs have a modulating effect on the migratory ability of NGs (the «EVA» period) and the potential of NGs to perceive nonspecific antigens («EVA» and sleep deprivation).

Conclusion. The statistically proven change in the effect of nicotine on NG surface molecules in volunteers during the isolation experiment indicates the existence of a modulating mechanism of nAChRs that regulates the percentage of certain CD/TLR NG subpopulations and depends on the time spent by the volunteers in isolation, as well as on additional factors whose role in modulating the immune response remains to be elucidated.

The work was carried out within the framework of fundamental research on the basic topics of the Russian Academy of Sciences № FMFR-2024-0039.

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГИПОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЙ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРЕБЫВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАМКНУТОГО ГЕРМООБЪЕМА

Зарипов Р.Н., Васин А.Л., Васильев И.М., Счастливцева Д.В., Демин А.В., Пашкова Д.В., Попова О.В., Орлов О.И.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

zaripovrd@yandex.ru

Развитие технологий позволяет все дальше углубляться в исследованиях по освоению космического пространства. В настоящее время не являются редкостью космические полеты с длительностью более шести месяцев и в обозримом будущем стоит ожидать космические миссии за пределы орбиты Земли. Известно, что основным фактором, который действует на организм космонавтов во время космического полета является невесомость, но за пределами орбиты Земли появится новый фактор – гипомагнитные условия (ГМУ). Проводится много исследований в мире с изучением влияния ГМУ на различные системы живых организмов. Результаты, хоть и в разной степени, свидетельствуют о том, что ГМУ оказывают воздействие на основные физиологические системы. Исследование кратковременного воздействия ГМУ на организм человека, в частности на сердечно-сосудистую систему, параметры центральной и периферической гемодинамики и центральной нервной системы (ЦНС), после нахождения в условиях длительной изоляции позволяет смоделировать некоторые факторы реального космического полета за пределы орбиты Земли.

Цель работы заключалась в оценке функционального состояния центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы, в том числе и параметров центральной и периферической гемодинамики у экипажа SIRIUS-23 при воздействии гипомагнитных условий до и после нахождения в условиях длительной изоляции в гермообъеме с искусственной газовой средой. Экспериментальные исследования проводились на стендовой базе по моделированию магнитных полей «Арфа» перед стартом изоляции и в помещении перед моделируемой «Лунной» поверхностью во время изоляции. Оценку функционального состояния ЦНС проводили с помощью когнитивных тестов, сердечно-сосудистую систему изучали с помощью прибора «Варикард», для оценки состояния микроциркуляторного русла применяли метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), показатели центральной гемодинамики оценивали с помощью прибора «SomnoTouch» и состояние сосудистого русла оценивали с использованием портативного ультразвукового аппарата «GE Logiq E». Дополнительно проводили взятие проб венозной крови для исследования параметров свертываемости крови. В эксперименте SIRIUS-23 (366-суточная изоляция) принимали участие 6 здоровых добровольцев (2 мужчин и 4 женщины) в возрасте от 25 до 37 лет на момент начала фоновых исследований. Все

испытуемые получили допуск врачебно-экспертной комиссии (ВЭК) ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Проведенные исследования были одобрены Комиссией по биоэтике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 643 от 07.07.2023 г.). Порядок исследований включал в себя все ограничения методик и был единым во время всех сессий эксперимента. В течение одного дня четырехчасовое воздействие ГМУ проводили у двух испытуемых. Таким образом удалось за три дня провести исследования у всего экипажа. Испытуемые были ознакомлены со всеми требованиями и условиями для корректного проведения всех методик во время изоляции.

Стоит отметить, что это первый опыт проведения подобных исследований с воздействием ГМУ в ходе длительной изоляции с помощью установки «Арфа». Условия во время изоляции отличались от фоновых, так как помещение имеет металлическую обшивку, которая может создавать помехи. Дополнительной сложностью было отсутствие визуального контроля положения экспозиционного бокса, что не позволило проводить корректировку его положения во время экспозиции. В результате, экспозиции во время изоляции оказались почти в два раза слабее по кратности снижения геомагнитного поля, чем экспозиции перед изоляцией.

В ходе проведенных исследований установлено, что частота сердечных сокращений и артериальное давление испытуемых повысились в условиях воздействия ГМУ в изоляции по сравнению с фоном в ГМУ, что в свою очередь привело к снижению вегетативного индекса Кердо у большинства испытуемых во время сессии в изоляции. Это может означать повышение парасимпатического влияния на сердечно-сосудистую систему. Также отмечалось снижение насыщения гемоглобина крови кислородом в ГМУ в ходе изоляции. Записи мониторирования ЭКГ с помощью прибора «Варикард» во время сессий свидетельствует о том, что ГМУ достаточно выраженно влияют как на регуляторные вегетативные, так и на центральные механизмы. Исследования микроциркуляторного русла в ГМУ позволяют предположить, что гипомагнитное воздействие приводит к снижению тонуса гладкомышечных клеток терминальных артериол микрососудистого русла кожи, при этом выраженность этого эффекта носит строго индивидуальный характер. Выявлены половые особенности в реакции регуляторных механизмов на уровне микроциркуляторного русла, выраженные в преобладании нейрогенного контура регуляции микрососудистого тонуса в условиях экспозиции ГМУ у испытуемых-женщин. Оценка динамики реализации когнитивных функций в ГМУ не показал значимых снижений когнитивных функций, что вероятнее всего связано с кратковременной продолжительностью экспозиции. Анализ результатов исследований сосудов выявил изменения диаметра/площади сосудов и скорости кровотока у испытуемых до и после воздействия ГМУ в фоновом периоде и во время изоляции, но выявленные изменения могут быть связаны с тем, что методику во время изоляции проводили не специалисты по ультразвуковой диагностике и сидячим положением во время экспозиций.

Данная работа выполнена в рамках темы FMFR-2024-0042 фундаментальных научных исследований РАН.

ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL STATE OF VARIOUS SYSTEMS OF THE HUMAN BODY UNDER THE INFLUENCE OF HYPOMAGNETIC CONDITIONS AFTER A LONG-TERM STAY IN A CLOSED HERMETIC VOLUME

Zaripov R.N., Vasin A.L., Vasilev I.M., Schastlivtseva D.V., Demin A.V., Pashkova D.V., Popova O.V., Orlov O.I.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

zaripovrd@yandex.ru

The development of technology allows us to go deeper into space exploration. Space flights lasting more than six months are not uncommon at present, and space missions beyond Earth orbit are expected in the foreseeable future. It is known that the main factor that affects the astronauts' body during space flight is weightlessness, but beyond Earth orbit a new factor will appear - hypomagnetic conditions (HMC). Many studies are being conducted around the world to study the effect of HMC on various systems of living organisms. The results, although to varying degrees, indicate that HMC have an effect on the main physiological systems. The study of the short-term effect of HMC on the human body, in particular on the cardiovascular system, the parameters of central and peripheral hemodynamics and the central nervous system (CNS), after being in conditions of long-term isolation allows us to simulate some factors of a real space flight beyond the Earth's orbit.

The aim of the work was to assess the functional state of the central nervous system, cardiovascular system, including the parameters of central and peripheral hemodynamics in the crew of «SIRIUS-23» under the influence of hypomagnetic conditions before and after being in conditions of long-term isolation in a hermetic volume with an artificial gas environment. Experimental studies were conducted on the stand base for modeling magnetic

fields «Arfa» before the start of isolation and in the room in front of the simulated «Lunar» surface during isolation. The functional state of the central nervous system was assessed using cognitive tests, the cardiovascular system was studied using the «Varicard» device, laser Doppler flowmetry (LDF) was used to assess the state of the microcirculatory bed, central hemodynamic parameters were assessed using the «SomnoTouch» device, and the state of the vascular bed was assessed using the «GE Logiq E» portable ultrasound device. Additionally, venous blood samples were taken to study blood clotting parameters. The «SIRIUS-23» experiment (366-day isolation) involved 6 healthy volunteers (2 men and 4 women) aged 25 to 37 years at the start of the background studies. All subjects received approval from the medical expert commission of the SSC RF - IBMP RAS. The studies were approved by the Bioethics Commission of the SSC RF - IBMP RAS (protocol No. 643 dated 07.07.2023). The research procedure included all the limitations of the methods and was the same for all sessions of the experiment. During one day, four-hour exposure to HMC was carried out on two subjects. Thus, it was possible to conduct studies on the entire crew in three days. The subjects were familiar with all the requirements and conditions for the correct implementation of all methods during isolation.

It is worth noting that this is the first experience of conducting such studies with the impact of HMC during long-term isolation using the «Arfa» device. The conditions during isolation differed from the background, since the room has a metal lining that can create interference. An additional complication was the lack of visual control of the position of the exposure box, which did not allow for adjusting its position during exposure. As a result, the exposures during isolation were almost twice as weak in terms of the multiplicity of the geomagnetic field reduction as the exposures before isolation.

The conducted studies established that the subjects' heart rate and blood pressure increased under the conditions of the HMC effect in isolation compared to the background in the HMC, which in turn led to a decrease in the Kerdo autonomic index in most subjects during the session in isolation. This may indicate an increase in the parasympathetic effect on the cardiovascular system. A decrease in the saturation of blood hemoglobin with oxygen in the HMC during isolation was also noted. ECG monitoring records using the «Varicard» device during sessions indicate that the HMC has a fairly pronounced effect on both regulatory vegetative and central mechanisms. Studies of the microcirculatory bed in the HMC suggest that hypomagnetic exposure leads to a decrease in the tone of smooth muscle cells of the terminal arterioles of the skin microvascular bed, while the severity of this effect is strictly individual. Sexual features in the reaction of regulatory mechanisms at the level of the microcirculatory bed were revealed, expressed in the predominance of the neurogenic circuit of regulation of microvascular tone under the conditions of exposure to HMC in female subjects. Evaluation of the dynamics of cognitive functions in the HMC did not show significant decreases in cognitive functions, which is most likely due to the short-term duration of exposure. Analysis of the results of vascular studies revealed changes in the diameter/area of the vessels and blood flow velocity in subjects before and after exposure to HMC in the background period and during isolation, but the changes identified may be due to the fact that the technique during isolation was not performed by ultrasound diagnostic specialists and the sitting position during exposure.

This work was performed within the framework theme of FMFR-2024-0042 Fundamental Scientific Research of the Russian Academy of Sciences.

АНАЛИЗ НЕОСОЗНАВАЕМЫХ КОМПОНЕНТОВ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ В ПРОЕКТЕ SIRIUS

Иванов А.В., Котровская Т.И., Счастливцева Д.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

scdarya@yandex.ru

Метод «Нейросемантической психодиагностики» (НСП) дает возможность регистрировать неосознаваемые факторы психической напряженности, которые могут обусловливать риски различных психологических событий, когнитивного и поведенческого диссонанса, вероятность которых, по мнению экспертов, возрастает прямо пропорционально продолжительности миссии.

Основной задачей исследования являлось выявление изменений психофизиологических реакций на эмоциогенную информацию в виде вербальных и образных стимулов, связанных с различными жизненными сферами, предъявляемую выше и ниже порога осознания для оценки значимости сфер, связанных с высокой эмоциональной напряженностью, психологическими защитами и другими психологическими

реалиями. Проведение анализа до и после изоляции различной длительности в рамках экспериментов международного проекта «SIRIUS позволяет оценить влияние ее факторов на динамику неосознаваемых психических процессов.

Исследование проводили в рамках международного проекта SIRIUS, в 3 изоляционных экспериментах, которые моделировал полет и высадку на Луну в условиях неполной автономности в наземном экспериментальном комплексе (НЭК) ГНЦ РФ – ИМБП РАН, с соблюдением и поддержанием газового состава среды, температуры и влажности. В проекте принимали участие мультинациональные экипаже с разнородным гендерным составом. Методика проводилась за сутки до начала эксперимента и в день окончания изоляции.

В 120-суточном эксперименте участвовали 6 практически здоровых добровольцев (3 – женского и 3 – мужского пола) в возрасте от 28 до 44 лет (33,66 ± 2,6), в 240-суточном – 5 добровольцев (2 – женского и 3 – мужского пола) в возрасте от 29 до 43 лет (34 ± 2,4), в 365-суточном – 6 добровольцев (4 – женского и 2 – мужского пола) в возрасте от 26 до 37 лет (31 ± 1,7).

Методика. Испытуемому на экране предъявляются вербальные и образные стимулы различного содержания, связанные с такими областями, как угроза жизни и здоровью, самооценка, семейные и сексуальные отношения и др. Время экспозиции каждого стимула варьируется от 30 до 50 мсек при подпороговой до 1200 мсек при осознаваемой стимуляции. При этом в отведениях F3, F4, T3, T4, P3, P4 (при GND на вертексе и референтных электродах на мочках ушей), регистрируется многоканальная энцефалограмма (ЭЭГ) и вызванные предъявлением каждого стимула потенциалы. Регистрация осуществляется с помощью усилителя биопотенциалов «Нейровизор-БММ». в полосе 0,3–30 Гц. Во время процедуры обследуемый выполняет простую операторскую деятельность: следит за предъявлением стимулов на экране, среди которых периодически появляется целевой стимул, в ответ на который ему необходимо нажать на кнопку.

Четырехмесячный эксперимент.

До начала изоляции наблюдалась высокая эмоциональная напряженность в сфере социально-профессиональных и межличностных отношений как на уровне предсознания, так и на глубинных уровнях переработки информации. Внутриличностные конфликты были связаны с тревожностью, вызванной неопределенными угрозами будущего, а также с актуальными эмоциональными переживаниями. В отношении семейно-сексуальной сферы фиксировались механизмы подавления и блокировки, действующие на глубинном подсознательном уровне. По завершении эксперимента на предсознательном уровне отмечается снижение напряженности в профессиональной сфере, однако усиливается акцент на проблематику семейно-сексуальных отношений и появляется ярко выраженная мотивация, ориентированная на материальное благополучие и ценности. На глубинных уровнях переработки информации усиливаются процессы подавления и вытеснения, касающиеся профессиональной деятельности.

Восьмимесячный эксперимент.

До начала эксперимента наибольшая суммарная реактивность в группе была связана с категорией «Страх». Существенную значимость также имела информация, связанная со стимулами «Авария» и «Здоровье», при этом проявлялись психологические защитные механизмы по типу отрицания. После проведения эксперимента значимость этих тем заметно снижается, тогда как категории «Болезнь» и «Секс» демонстрируют некоторое усиление. Высокий уровень тревожности и наличие скрытых опасений до начала эксперимента отражались в выраженных первичных реакциях на стимулы, связанные с угрозой, аварийностью, смертью и самооценкой. По завершении эксперимента проблематика, связанная с «Аварией» и «Опасностью», сохраняет свою значимость, но уже преимущественно на уровне ассоциативного реагирования. Получены данные о определенных гендерных особенностях в динамике реагирования. У женщин до изоляции преобладают реакции защитного типа, после изоляции защитное реагирование отсутствует. У мужчин картина преимущественно противоположная – отсутствие защитного реагирования перед изоляцией и появление его после изоляции, либо отличий в защитном реагировании до и после эксперимента не наблюдалось.

Годовой эксперимент.

До начала эксперимента наибольшую значимость имели темы, связанные с заботой о здоровье («Болезнь») и материальными трудностями. После эксперимента резко усилилась реакция на сексуальную проблематику, что объясняется воздействием длительной изоляции. Значимость темы здоровья исчезла, а уровень обеспокоенности материальными вопросами остался стабильным.

Также до эксперимента наблюдалась выраженная защитная реакция на стимул «Сириус» и ее отсутствие на стимул «Луна». По завершении исследования защитная реакция на «Луну» усиливается, указывая на вытеснение связанной с ней проблематики, тогда как реакция на «Сириус» снижается. Повышается также защита по стимулу «Болезнь». Это подтверждает различную смысловую нагрузку: «Луна» отражает непосредственную угрозу, тогда как «Сириус» – абстрактную, связанную с проектной деятельностью.

Показатели указывают на влияние полушарных механизмов обработки информации, зависящих от режима предъявления. На подпороговом уровне положительные значения связаны с тревогой, отрицательные – с эмоциональными реакциями. До эксперимента эмоциональные отклики отмечались на темы «Авария» и «Семья», после – на «Луну», «Опасность», «Приказ» и «Сириус». При этом скрытая тревожность, ранее не выраженная, становится заметной и связана с темами сексуальности и смерти.

Таким образом, период изоляции является существенным психологическим фактором, вызывающим перераспределение эмоциональных и защитных реакций. Защитные механизмы трансформируются: одни темы вытесняются, другие, ранее подавленные, выходят на поверхность. Изменения затрагивают как уровень осознаваемого восприятия, так и глубинные бессознательные процессы, что указывает на перестройку личностной и мотивационной структуры в экстремальных условиях изоляции.

Работа выполнена в рамках Программы Фундаментальных научных исследований РАН FMFR-2024-0034.

ANALYSIS OF UNCONSCIOUS COMPONENTS OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL REACTIONS OF CREW MEMBERS IN THE PROJECT SIRIUS

Ivanov A.V., Kotrovskaya T.I., Schastlivtseva D.V.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

scdarya@yandex.ru

The method of «Neurosemantic psychodiagnostics» (NSP) makes it possible to register unconscious factors of mental stress that can cause risks of various psychological events, cognitive and behavioral dissonance, the probability of which, according to experts, increases in direct proportion to the duration of the mission.

The main objective of the study was to identify changes in psychophysiological reactions to emotiogenic information in the form of verbal and figurative stimuli associated with various spheres of life, presented above and below the threshold of awareness to assess the significance of areas associated with high emotional stress, psychological defenses and other psychological realities. Conducting an analysis before and after isolation of varying duration within the framework of the experiments of the international project «SIRIUS» allows us to assess the influence of its factors on the dynamics of unconscious mental processes.

The study was conducted within the framework of the international project «SIRIUS», in 3 isolation experiments that simulated a flight and landing on the Moon in conditions of partial autonomy in the ground experimental complex (NEK) of the IBMP, with the observance and maintenance of the gas composition of the environment, temperature and humidity. The project involved a multinational crew with a heterogeneous gender composition. The methodology was carried out a day before the start of the experiment and on the day of the end of isolation.

In the 120-day experiment, 6 practically healthy volunteers (3 female and 3 male) aged 28 to 44 years (33.66 ± 2.6) participated, in the 240-day experiment – 5 volunteers (2 female and 3 male) aged 29 to 43 years (34 ± 2.4), in the 365-day experiment – 6 volunteers (4 female and 2 male) aged 26 to 37 years (31 ± 1.7).

Methodology. The subject is presented with verbal and figurative stimuli of various content on the screen, related to such areas as threats to life and health, self-esteem, family and sexual relations, etc. The exposure time of each stimulus varies from 30 to 50 ms for subthreshold stimulation to 1200 ms for conscious stimulation. In this case, a multichannel encephalogram (EEG) and potentials caused by the presentation of each stimulus are recorded in leads F3, F4, T3, T4, P3, P4 (with GND on the vertex and reference electrodes on the earlobes). The recording is carried out using the Neurovisor-BMM biopotential amplifier in the band of 0.3 - 30 Hz. During the procedure, the subject performs simple operator activity: monitors the presentation of stimuli on the screen, among which the target stimulus periodically appears, in response to which he must press a button.

Four-month experiment

Before the isolation, high emotional tension was observed in the sphere of social-professional and interpersonal relations both at the level of preconsciousness and at deep levels of information processing. Intrapersonal conflicts were associated with anxiety caused by uncertain threats of the future, as well as with current emotional experiences. In relation to the family-sexual sphere, suppression and blocking mechanisms operating at a deep subconscious level were recorded. Upon completion of the experiment, a decrease in tension in the professional sphere was noted at the preconscious level, however, an increased emphasis on the problems of family-sexual relations was noted, and a pronounced motivation oriented towards material well-being and values appeared. At deep levels of information processing, suppression and repression processes related to professional activity were intensified.

Eight-month experiment

Before the experiment, the highest total reactivity in the group was associated with the category «Fear». Information related to the stimuli «Accident» and «Health» also had significant significance, while psychological defense mechanisms such as denial were manifested. After the experiment, the significance of these topics noticeably decreases, while the categories «Illness» and «Sex» demonstrate some increase. The high level of anxiety and the presence of hidden fears before the experiment were reflected in pronounced primary reactions to stimuli related to threat, accidents, death and self-esteem. Upon completion of the experiment, the issues related to «Accident» and «Danger» retain their significance, but already mainly at the level of associative response. Data on certain gender characteristics in the dynamics of response were obtained. In women, before isolation, defensive reactions predominate, after isolation, defensive response is absent. In men, the picture is mainly the opposite - the absence of a defensive response before isolation and its appearance after isolation, or no differences in defensive response before and after the experiment were observed.

One-year experiment

Before the experiment, the most significant topics were those related to health concerns («Illness») and financial difficulties. After the experiment, the reaction to sexual issues increased sharply, which can be explained by the impact of prolonged isolation. The importance of the health topic disappeared, and the level of concern about financial issues remained stable.

Also before the experiment, a pronounced defensive reaction to the «Sirius» stimulus and its absence to the «Moon» stimulus were observed. After the completion of the study, the defensive reaction to the «Moon» increased, indicating the repression of the issues associated with it, while the reaction to «Sirius» decreased. Defense for the «Illness» stimulus also increased. This confirms the different semantic load: «Moon» reflects an immediate threat, while «Sirius» reflects an abstract one, associated with project activities.

The indicators indicate the influence of hemispheric information processing mechanisms that depend on the presentation mode. At the subthreshold level, positive values are associated with anxiety, negative values with emotional reactions. Before the experiment, emotional responses were noted to the topics of «Accident» and «Family», after – to «Moon», «Danger», «Order» and «Sirius». At the same time, hidden anxiety, previously not expressed, becomes noticeable and is associated with the topics of sexuality and death.

Thus, the period of isolation is a significant psychological factor that causes a redistribution of emotional and protective reactions. Defence mechanisms are transformed: some topics are repressed, while others that were previously suppressed come to the surface. These changes affect both conscious perception and deep unconscious processes, indicating a restructuring of personal and motivational structures in extreme conditions of isolation.

The work was carried out within the framework of the Fundamental Scientific Research Program of the Russian Academy of Sciences FMFR-2024-0034.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МИКРОБИОЦЕНОЗА РОТОВОЙ ПОЛОСТИ У ДОБРОВОЛЬЦЕВ В УСЛОВИЯХ ГОДОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Ильин В.К.[1], Гуркова М.М.[3], Садчикова Е.Р.[2], Рыкова М.П.[1], Соловьёва З.О.[1], Носовский А.М.[1], Юскевич В.В.[3]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

[2]Институт биологии гена РАН, Москва, Россия

[3]ООО Научно-производственный центр «МикроМир», Москва, Россия

soloviova@imbp.ru

В рамках международного проекта SIRIUS проведены несколько изоляционных экспериментов с увеличивающейся продолжительностью пребывания обследуемых в гермообъекте. Анализ данных количественного и видового состава микробиоценоза у добровольцев в условиях длительной изоляции, свидетельствует о периодическом накоплении потенциала патогенности в системе «человек – микроорганизмы». Поэтому необходим экологический подход к проблемам профилактики инфекций у человека, находящегося в экстремальных условиях.

Целью исследования являлась комплексная оценка влияния профилактических средств на состояние микробиоценоза ротовой полости у добровольцев изоляционного эксперимента Sirius 23, включающая микробиологические и иммунологические исследования.

Для комплексной оценки препаратов на основе бактериофагов и лактоферрина в качестве профилактических средств использовали анализ следующих показателей: пародонтопатогенной микрофлоры, секреторного иммуноглобулина А (sIgA), провоспалительного цитокина класса IL6 и противовоспалительного цитокина класса IL10.

Исследование проведено с участием 6 практически здоровых добровольцев (2 мужчин и 4 женщины) в возрасте от 26 до 38 лет, получивших допуск врачебно-экспертной комиссии и подписавших Информированное согласие на участие в эксперименте согласно с Хельсинской декларацией. Программа эксперимента была одобрена Комиссией по биомедицинской этике при ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 643 от 07.07.2023г.). Обследуемые делились на две группы. Первая группа (три добровольца) применяли гель с бактериофагами «Фагодент». Вторая группа (три добровольца) применяли ополаскиватель на основе лактоферрина.

Взятие проб проводили утром натощак, до гигиенических процедур за двое суток до применения профилактических средств. На 360 сутки профилактические средства не применялись. Исследования проводились за 5 суток до изоляции (фон), на 14 сутки изоляции, каждые 30 дней и на 14 сутки по окончании изоляции. Взятие микробиологических проб проводили из межзубного промежутка ершиком Curaprox со сменным наконечником, который затем помещался в транспортную среду Эймса. Взятие проб для иммуноферментного анализа (ИФА) проводили стерильным тампоном, который прикладывался снаружи между 1 и 2 резцами справа и слева, на нижней челюсти на 2 минуты. Анализ проб проводили с помощью метода масс - спектрометрии на время – пролетном масс – спектрометре, бактериологического и биохимического методов. Концентрация секреторного иммуноглобулина А (sIgA) и цитокинов IL-6, IL-10 в ротовой жидкости у добровольцев определялась методом ИФА с помощью наборов реагентов ЗАО «Вектор – Бест» (Россия) согласно инструкциям производителя. Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью дисперсионного анализа, уровень значимости $p < 0.05$.

По окончании эксперимента в 1,6 раза достоверно ($p < 0.05$) увеличилось значение эубиотического индекса по сравнению с фоновыми значениями в группе, применявшей «Фагодент», а в группе, применявшей «Лактоферрин» значение эубиотического индекса по сравнению с фоновыми значениями достоверно ($p < 0.05$) уменьшилось в 2,33 раза. Отмечено, что в двух группах участников микробный спектр был эластичен и вариабелен и отличался в каждой контрольной точке.

Наблюдается тенденция периодического увеличения содержания sIgA, IL-6, IL-10 в ротовой жидкости у испытателей. По-видимому, это связано с качественным изменением микробиоценоза полости рта, а именно, с периодическим увеличением обсемененности и микробного разнообразия полости рта.

По окончании эксперимента в 1,6 раза достоверно ($p < 0.05$) уменьшилось значение соотношения IL-6/IL-10 по сравнению с фоновыми значениями в группе, применявшей «Фагодент», а в группе, применявшей «Лактоферрин» значение соотношения IL-6/IL-10 по сравнению с фоновыми значениями достоверно ($p < 0.05$) уменьшилось в 1,9 раза. Следует отметить, что на 14 сутки по окончании эксперимента наблюдается баланс про- и противовоспалительных цитокинов в двух группах.

Таким образом, по окончании эксперимента отмечено преобладание непатогенных видов микроорганизмов в группе, применявшей «Фагодент», и связанные с этим благоприятные изменения факторов местного гуморального иммунитета. Оба препарата оказывают положительное влияние на состояние микробиоценоза ротовой полости участников, но препарат «Фагодент» оказывает лучшее профилактическое влияние.

Работа выполнена в рамках Программы Фундаментальных научных исследований РАН (FMFR-2024-0035) и при использовании базы УНУ «Трансгенбанк».

USE OF PROPHYLACTIC DRUGS TO OPTIMIZE THE ORAL MICROBIOCENOSIS IN VOLUNTEERS UNDER CONDITIONS OF ANNUAL ISOLATION

Ilyin VK.[1], Gurkova M.M.[3], Sadchikova E.R.[2], Rykova M.P.[1], Solovieva Z.O.[1], Nosovsky A.M.[1], Yuskevich V.V.[3]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Institute of Gene Biology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[3]Scientific and Production Center «MicroMir», Moscow, Russia

soloviova@imbp.ru

Within the framework of the international SIRIUS project, several isolation experiments were conducted with increasing duration of stay of the subjects in a hermetic facility. Analysis of the data on the quantitative and species composition of the microbiocenosis in volunteers under conditions of long-term isolation indicates a

periodic accumulation of pathogenicity potential in the human-microorganism system. Therefore, an ecological approach is needed to the problems of preventing infections in humans under extreme conditions.

The aim of the study was a comprehensive assessment of the effect of preventive agents on the state of the oral microbiocenosis in volunteers of the isolation experiment Sirius 23, including microbiological and immunological studies.

For a comprehensive assessment of drugs based on bacteriophages and lactoferrin as preventive agents, the following indicators were analyzed: periodontopathogenic microflora, secretory immunoglobulin A (sIgA), proinflammatory cytokine class IL6 and anti-inflammatory cytokine class IL10.

The study was conducted with the participation of 6 practically healthy volunteers (2 men and 4 women) aged 26 to 38 years, who received approval from the medical expert commission and signed the Informed consent to participate in the experiment in accordance with the Declaration of Helsinki. The experimental program was approved by the Biomedical Ethics Committee of the Russian Scientific Center – Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (protocol No. 643 dated 07.07.2023). The subjects were divided into two groups. The first group (three volunteers) used the gel with bacteriophages «Fagodent». The second group (three volunteers) used a mouthwash based on lactoferrin.

Samples were taken in the morning on an empty stomach, before hygiene procedures two days before the use of prophylactic agents. On the 360th day, prophylactic agents were not used. The studies were conducted 5 days before isolation (background), on the 14th day of isolation, every 30 days and on the 14th day after the end of isolation. Microbiological samples were taken from the interdental space using a Curaprox brush with a replaceable tip, which was then placed in Ames transport medium. Samples for enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) were taken with a sterile swab, which was applied externally between the 1st and 2nd incisors on the right and left, on the lower jaw for 2 minutes. The samples were analyzed using the method of mass spectrometry on a time-of-flight mass spectrometer, bacteriological and biochemical methods. The concentration of secretory immunoglobulin A (sIgA) and cytokines IL-6, IL-10 in the oral fluid of volunteers was determined by the ELISA method using reagent kits from Vector-Best JSC (Russia) according to the manufacturer's instructions. Statistical processing of the obtained data was carried out using the analysis of variance, the significance level $p < 0.05$.

At the end of the experiment, the eubiotic index value increased significantly ($p < 0.05$) by 1.6 times compared to the background values in the group using Fagodent, and in the group using Lactoferrin, the eubiotic index value decreased significantly ($p < 0.05$) by 2.33 times compared to the background values. It was noted that in the two groups of participants, the microbial spectrum was elastic and variable and differed at each control point.

There is a tendency for a periodic increase in the content of sIgA, IL-6, IL-10 in the oral fluid of the test subjects. Apparently, this is due to a qualitative change in the microbiocenosis of the oral cavity, namely, with a periodic increase in the contamination and microbial diversity of the oral cavity.

At the end of the experiment, the IL-6/IL-10 ratio significantly decreased by 1.6 times ($p < 0.05$) compared to the background values in the group using Fagodent, and in the group using Lactoferrin, the IL-6/IL-10 ratio significantly decreased by 1.9 times ($p < 0.05$) compared to the background values. It should be noted that on the 14th day after the end of the experiment, a balance of pro- and anti-inflammatory cytokines is observed in the two groups.

Thus, at the end of the experiment, a predominance of non-pathogenic types of microorganisms was noted in the group using Fagodent, and the associated favorable changes in the factors of local humoral immunity. Both drugs have a positive effect on the state of the oral microbiocenosis of the participants, but Fagodent has a better preventive effect.

FMFR-2024-0035, database of UNU «Transgenbank».

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ФРАКЦИОНИРОВАННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОВЕДЕНИЕ И КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ МЫШЕЙ В ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ

Кадукова Е.М.

Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь

helena.kad@mail.ru

На современном этапе одной из основных медико-биологических проблем освоения дальнего космоса является решение задач обеспечения поддержания навыков профессиональной деятельности космонав-

тов, а также успешного выполнения ими исследовательских работ в связи с повышенным риском функциональных нарушений в центральной нервной системе, обусловленных длительным воздействием космической радиации. Практически единственным методом изучения биологических реакций человека и количественных закономерностей этих реакций в ответ на воздействие космической радиации в сочетании с другими факторами полета являются экспериментальные работы с животными при моделировании действия на них факторов космического полета в условиях наземного эксперимента. И хотя для космической радиобиологии наиболее актуально изучение реакций организма при воздействии корпускулярных излучений, в частности протонов, но биологическая эффективность солнечных космических лучей сопоставима с таковой у рентгеновских лучей.

Следует также отметить, что все более широкое использование в исследовательских целях в радиобиологических лабораториях получают источники рентгеновского излучения.

Целью данной работы было исследование когнитивных функций и поведенческой активности у самцов мышей линии C57Bl/6 в отдаленные сроки после воздействия рентгеновского излучения.

Материалы и методы исследования. Работа выполнена на самцах мышей инбредной линии C57Bl/6 в возрасте 2,5 мес. на начало облучения. Животных содержали в контролируемых условиях вивария при световом режиме (12 ч день/ 12 ч ночь) по 5 особей в клетке, со свободным доступом к стандартному рациону пищи и воде ad libitum. Все экспериментальные работы с лабораторными животными проводили в соответствии с требованиями комитета по этике Института радиобиологии и директивой 86/609/EEC. Животные были разделены на две группы: «Облучение» и «Ложное облучение». Общее облучение мышей проводили на рентгеновской установке биологического назначения X-Rad 320 Precision X-ray Inc. в дозе по 30 сГр (мощность дозы облучения 0,36 сГр/мин.) в течение 9 дней. Параметры настройки экспозиции: напряжение 30 кВ; ток 3 мА; расстояние от источника до облучаемого объекта 50 см; фильтр 2 мм Al. Кумулятивная доза облучения составила 2,7 Гр на животное. Для проведения каждой процедуры облучения животные фиксировались в индивидуальных тесных пеналах в течение 1 часа 30 минут.

Исследование памяти в тесте «Распознавание нового объекта» (РНО)

Тест состоял из трех пятиминутных сессий, проводимых последовательно с интервалом 24 ч: 1 – без объектов, для адаптации экспериментальных животных к установке; 2 – с двумя одинаковыми объектами, которые устанавливались симметрично в одной из частей арены на расстоянии 6 см от бортов, 3 – с заменой одного из объектов на новый. Вычисляли Индекс распознавания по формуле (Тн / Тн + Тз) × 100 %, где Тн – время исследования «нового» объекта, Тз – время исследования «знакомого» объекта в течение 3 сессии.

Тест на поиск входа в укрытие (ПВУ)

Тест проводили в течение 3-х последовательных дней. Каждая мышь проходила 9 этапов теста нарастающей сложности (Т1–Т9). При выполнении каждого этапа теста мышь помещали в ярко освещенную часть экспериментальной камеры, из которой она должна была перейти в темную часть камеры через углубленный в полу узкий лаз. В первый день при выполнении этапа Т1 мышь должна была перейти в темный отсек через лаз в полу при открытом в стене проходе. При выполнении этапов Т2 и Т3 мышь переходила в темный отсек через открытый углубленный лаз при закрытом в стене проходе. Во второй день при выполнении этапа Т4 мышь переходила в темный отсек, как при выполнении Т2 и Т3. В этапах теста Т5 (оценка способности решать проблемы) и Т6 (оценка обучения – кратковременной памяти) лаз в темную часть камеры был замаскирован древесной стружкой вровень с полом, для перехода в темную часть камеры мышь должна была разрыть опилки и освободить проход в лаз. В третий день при выполнении этапа Т7 лаз закрывали стружкой, как в Т5 и Т6, в этапе Т8 лаз сверху был заблокирован картонной крышкой, при этом для проникновения в лаз было необходимо ею «манипулировать»: приподнять, отодвинуть. В этапе Т9, повторяющем условия этапа Т8, оценивали кратковременную память. На выполнение этапов теста Т1–Т7 каждому животному предоставляли 180 с, на решение этапов Т8 (оценка способности решать проблемы) и Т9 – 240 с. Если испытуемое животное не переходило в темную часть камеры за установленное время (в зависимости от номера этапа), время решения обозначали как 180 с или 240 с.

Успешность выполнения теста оценивали по времени перехода мыши в темную часть камеры – латентного периода (ЛП), а для группы животных – по доле мышей, решивших «когнитивные» этапы теста Т5 и Т8.

Для выявления различий между группами использовали 1-факторный ANOVA и непараметрический критерий Манна-Уитни. Результаты представляли в виде медианы (Me) и межквартильного размаха 25-й и 75-й процентили. Различия между группами считали статистически значимыми при $p < 0.05$.

Результаты. В отдаленный период (8 месяцев) после воздействия рентгеновского излучения у самцов мышей линии C57Bl/6 при проведении теста РНО время обследования двух одинаковых объектов во второй день теста не различалось у животных исследуемых групп, но число подходов к двум одинаковым предметам было выше в группе «Облучение» и составляло 17 [15,5; 18,5] при значении в группе «Ложное

облучение» 11 [10; 12] ($p < 0,002$). При тестировании животных через 24 часа время обследования нового предмета было выше, чем знакомого как у мышей группы «Облучение», так и у мышей группы «Ложное облучение». Индекс распознавания составил в группе «Ложное облучение» 62,4 %, а в группе «Облучение» – 58,5 % соответственно. Таким образом, не выявлено нарушений непространственной памяти, которое выражалось в сохранении способности дифференцировать знакомый и новый предмет.

Через 10 месяцев после облучения при первом предъявлении теста ПВУ (этап Т1) мышам латентный период входа в темный отсек составлял 102,5 [48,8; 180] с и был достоверно снижен по сравнению с значением в группе «Ложное облучение» – 180 [180; 180] с. При предъявлении животным этапов Т2, Т3, Т4 и Т5 различия между сравниваемыми группами по данному показателю не зафиксированы. При предъявлении этапа Т6 (вход в лаз засыпан стружками), в котором исследовалась способность обучаться (оценка кратковременной памяти), медианное значение латентного времени входа в темный отсек составляло 58 [45,5; 180] с в группе «Ложное облучение» и 180 [180; 180] с в группе «Облучение» соответственно ($p < 0,03$). Также после облучения были нарушены когнитивные способности при решении этапа Т8 (усложненная задача), ЛП при этом составлял в группе «Облучение» 240 [227,8; 240] с, а в группе «Ложное облучение» 90 [57,5; 235] с ($p < 0,04$).

Таким образом, в отдаленном периоде после воздействия рентгеновского излучения в дозе 2,7 Гр у самцов мышей линии C57Bl/6 отмечали трудности при решении ряда этапов (когнитивных) теста на поиск входа в укрытие.

Работа поддержана НИР «Анализ процессов адаптации в популяциях животных разных систематических групп к хроническому действию повышенного уровня ионизирующих излучений» (№20210298) Государственной программы научных исследований «Конвергенция-2025» (Беларусь).

ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF FRACTIONATED X-RAY RADIATION ON BEHAVIOR AND COGNITIVE FUNCTIONS IN MICE IN THE REMOTE PERIOD

Kadukova A.M.

Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

helena.kad@mail.ru

At the current stage, one of the primary medical and biological challenges in the exploration of deep space is addressing the tasks of maintaining cosmonauts' professional skills, as well as ensuring the successful completion of their research activities, in light of the increased risk of functional disorders in the central nervous system caused by prolonged exposure to space radiation. Experimental studies involving animals, which simulate the effects of space flight factors under ground-based conditions, remain practically the only method for investigating human biological responses and quantitatively characterizing these responses to space radiation in combination with other flight factors. Although the study of organismal responses to corpuscular radiation, particularly protons, is most relevant for space radiobiology, the biological effectiveness of solar cosmic rays is comparable to that of X-rays. It should also be noted that X-ray sources are increasingly employed for research purposes in radiobiological laboratories.

The aim of the present work was to investigate cognitive functions and behavioral activity in male C57Bl/6 mice in remote stages following exposure to X-ray radiation.

Materials and methods. 2.5 months old male mice of the inbred line C57Bl/6 were used in this study. The mice were maintained 12 hour light/dark cycle in standard temperature in a group of 5 animals per cage. During the experiment the mice had access to standard diet of food and water ad libitum. All experimental work with laboratory animals was carried out in accordance with the requirements of the Ethics Committee of the Institute of Radiobiology and Directive 86/609/EEC. The animals were divided into two groups: Irradiation and Sham Irradiation. Total irradiation of mice was performed on an X-Rad 320 Precision X-ray Inc. biological X-ray system at a dose of 30 cGy (dose rate 0.36 cGy/min.) for 9 days. Exposure settings: voltage 30 kV; amperage 3 mA; distance from the source to the irradiated object 50 cm; filter 2 mm Al. The cumulative radiation dose was 2.7 Gy per animal. The animals were fixed in individual tight cases for 1 hour 30 minutes for each irradiation procedure.

Novel Object Recognition (NOR) Task

The test consisted of three five-minute phases and conducted with an interval of 24 hours: 1 – Habituation phase: without objects in the arena; 2 – Sample phase: two identical objects were placed symmetrically in one of the parts of the arena at a distance of 6 cm from the sides, 3 – Testing phase: one familiar object from sample

phase and one novel object were placed in the arena. The Recognition Index was calculated as a ratio of the amount of Time spent exploring novel object over the Total time spent exploring both objects during the 3rd phase.

Puzzle box Test

Mice underwent a total 9 trials (T1-T9) over 3 consecutive days, with three trials per day, during which they were challenged with obstructions of increasing difficulty placed at the underpass. During each stage of the test, the mouse was placed in a brightly lit part of the experimental chamber, from which it had to move to the dark part of the chamber through a narrow hole dug in the floor. On day 1 the underpass was un-blocked, and the barrier had an open door over the location of the underpass during T1. On T2 and T3 the barrier had no doorway and mice entered via the small underpass. On day 2 T4 was identical to T2 and T3. On T5 and T6, however, the underpass was filled with sawdust and mice had to dig their way through. On day 3, T7 was a repetition of T5 and T6. However, on T8 and T9, mice were presented the hole was blocked from above with a cardboard lid. To enter the hole, it was necessary to "manipulate" it: lift it, move it. This sequence allowed assessing problem solving ability (T5 and T8), and learning/short-term memory for species-specific or instrumental responses (T3, T6, T9), while the repetition on the next day provided a measure of long-term memory (T4 and T7). A trial started by placing the mouse in the start zone, and ended when the mouse entered the goal zone all four paws, or after a total time of 3 min (training and burrowing) or 4 min (T8, T9). The success of the test was assessed by measuring the latency to enter the goal zone - the latent period (LP), and for a group of animals - by the proportion of mice that solved the «cognitive» stages of the test T5 and T8.

1-factor ANOVA and the nonparametric Mann-Whitney test were used to identify differences between groups in the tests. Comparisons are considered statistically significance is lower than 0.05. The results were presented as a median (Me) and interquartile range of the 25th and 75th percentiles.

Results. The time of examination of two identical objects on the second day of the RNO test did not differ in the animals of the studied groups, but the number of approaches to two identical objects was higher in the Irradiation group and was 17 [15.5; 18.5] with a value in the Sham Irradiation group of 11 [10; 12] ($p < 0.002$) in the late period (8 months) after exposure to X-rays. The time of examination of a new object was higher than that of a familiar one in both the Irradiation and Sham Irradiation groups, when testing the animals 24 hours later. The recognition index was 62.4 % in the Sham Irradiation group and 58.5% in the Irradiation group, respectively. Thus, no impairment of non-spatial memory was revealed, which was expressed in the preservation of the ability to differentiate between a familiar and a new object.

Ten months after irradiation, during the first presentation of the puzzle box test (stage T1) to mice, the latency of entering the goal zone was 102.5 [48.8; 180] s and was significantly reduced compared to the value in the Sham Irradiation group – 180 [180; 180] s. No differences were recorded between the compared groups for this indicator, when the animals were presented with stages T2, T3, T4 and T5. On T6 (the entrance to the hole was covered with shavings), in which the ability to learn (assessment of short-term memory) was examined: the median value of the latency of entering the goal zone was 58 [45.5; 180] s in the Sham Irradiation group and 180 [180; 180] s in the Irradiation group, respectively ($p < 0.03$). Also after irradiation, cognitive abilities in solving stage T8 (cognitive task) were impaired; the LP in the Irradiation group was 240 [227.8; 240] s, and in the Sham Irradiation group it was 90 [57.5; 235] s ($p < 0.04$). Thus, in the late period after exposure to X-ray radiation at a dose of 2.7 Gy, male C57Bl/6 mice showed a deterioration in solving a number of stages of the puzzle box test.

The work was supported by the research project «Analysis of adaptation processes in animal populations of different systematic groups to chronic exposure to elevated levels of ionizing radiation» (No. 20210298) of the State Scientific Research Program «Convergence-2025» (Belarus).

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ЭМПАТИИ МЕЖДУ ЛЮДЬМИ В УСЛОВИЯХ СОВМЕСТНОГО ПРЕБЫВАНИЯ

Кирюхин О.Л., Куоса Т.А., Морозова Л.С., Андреева Н.В.

Медико-санитарная часть МВД России по Рязанской области, Рязань, Россия

okiryukhin@bk.ru

Эмпатия, как состояние глубокого взаимопонимания, часто является необходимым условием общения людей, находящихся в замкнутом пространстве в течении продолжительного времени. Она включает в себя ряд аспектов, в числе которых когнитивные, эмоциональные, культуральные, этнические и даже фи-

зиологические. Однако физиологическим процессам, которые способствуют эмпатическому реагированию, уделяется мало внимания.

Цель исследования: изучить физиологические реакции, возникающих в процессе общения двух людей при установлении эмпатии, о которой сообщал один из них, характеризуя собеседника, как «хорошего», «приятного», «понимающего» человека с точки зрения глубины взаимопонимания.

Материалы и методы. Проанализированы три опыта взаимодействия пациентов диагностического отделения госпиталя МВД при круглосуточном проживании в больничной палате, нахождение в которой прерывалось лишь диагностическими процедурами по плану обследования (пациенты проходили плановое диспансерное обследование). Уровень эмпатии оценивался с помощью Индекса межличностной реактивности (IRI) Девиса – опросника из 28 пунктов, в котором участники сообщали, насколько каждое утверждение описывает их, по шкале от 1 (не описывает меня хорошо) до 6 (описывает меня в высшей степени хорошо). На участниках эксперимента были установлены трекеры, измеряющие частоту пульса, дыхания, громкость голоса и электропроводность кожи по данным пульсоксиметрии.

Результаты. По данным приборов физиологического наблюдения при установлении непрерывного «разговорного контакта» в течении первых 30 минут наблюдались явления физиологической синхронизации двумя испытуемыми по частоте и глубине дыхания ($p < 0,05$), громкости голоса ($p < 0,05$), скорости речи ($p < 0,05$), исключая частоту пульса ($p > 0,05$), но только в том случае, если испытуемые показывали высокий уровень межличностной реактивности (IRI > 4,14), т. е. достигали высокой степени эмпатии в ходе разговорного взаимодействия. В двух случаях электропроводность кожи участников эксперимента приблизилась к обшей величине, но для достоверности результатов измерений было недостаточно. В каждом наблюдении степень выраженности синхронизации была прямо пропорциональна индексу межличностной реактивности (IRI). Эти результаты указывают на важную роль физиологической синхронизации в эмпатическом реагировании на собеседника.

Заключение. Таким образом, при высокой степени межличностной реактивности наблюдается явление «заражения эмоциями» сопровождающееся физиологической синхронизацией по ряду показателей, расцениваемое субъектами общения как эмпатия. Предлагаемая рядом направлений психотерапии «подстройка» к собеседнику наступает гораздо быстрее, когда субъекты общения близки изначально по частоте дыхания, тембру голоса, скорости и манере речи, что действительно создает «ощущение взаимопонимания» по механизму «единого дыхания». Полученные результаты указывают на важную роль физиологической синхронизации для улучшения взаимодействия людей, находящихся в вынужденном близком контакте. А опыт взаимодействия, наблюдаемый в условиях медицинского учреждения, можно перенести на пребывание в ограниченном пространстве космических станций.

THE PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF EMPATHY BETWEEN TWO MEN IN CONDITIONS OF CRAMPED COHABITATION

Kiryukhin O.L., Kuosa T.A., Morozova L.S., Andreeva N.V.

Medical and Sanitary Unit of the Ministry of Internal Affairs of Russia for the Ryazan Region, Ryazan, Russia

okiryukhin@bk.ru

Empathy, as a state of deep mutual understanding, is often a necessary condition for communication between people who are in a confined space for a long time. It includes a number of aspects, including cognitive, emotional, cultural, ethnic, and even physiological. However, little attention is paid to the physiological processes that promote empathic response. The purpose of the study: to study the physiological reactions that occur in the process of communication between two people when establishing empathy, which was reported by one of them, describing the interlocutor as a «good», «pleasant», «understanding» person in terms of the depth of mutual understanding.

The article analyzes three experiences of interaction between patients of the diagnostic department of the hospital of the Ministry of Internal Affairs during round-the-clock stay in a hospital ward, which was interrupted only by diagnostic procedures according to the examination plan (patients underwent a routine medical examination). Empathy levels were assessed using the Davis Interpersonal Reactivity Index (IRI), a 28 – point questionnaire in which participants reported how well each statement described them, on a scale from 1 (does not describe me well) to 6 (describes me extremely well). Trackers were installed on the participants of the experiment, measuring pulse rate, respiration, voice volume and skin electrical conductivity according to pulse oximetry.

According to the data of physiological monitoring devices, when establishing continuous «conversational contact» during the first 30 minutes, physiological synchronization phenomena were observed between the two subjects in terms of frequency and depth of breathing ($p < 0.05$), voice volume ($p < 0.05$), speech speed ($p < 0.05$), excluding pulse rate ($p > 0.05$), but only if the subjects showed a high level of interpersonal reactivity (IRI > 4.14), i.e. achieved a high degree of empathy during conversational interaction. In two cases, the electrical conductivity of the skin of the participants in the experiment approached the general value, but it was not enough to verify the measurement results. In each case, the degree of synchronization was directly proportional to the interpersonal reactivity index (IRI). These results indicate the important role of physiological synchronization in empathic response to the interlocutor.

Thus, with a high degree of interpersonal reactivity, the phenomenon of «infection with emotions» is observed, accompanied by physiological synchronization in a number of indicators, regarded by the subjects of communication as empathy. The «adjustment» to the interlocutor proposed by a number of areas of psychotherapy occurs much faster when the subjects of communication are initially close in terms of breathing rate, voice timbre, speed and manner of speech, which really creates a «feeling of mutual understanding» through the mechanism of «single breathing». The results indicate the important role of physiological synchronization in improving the interaction of people who are in forced close contact. And the experience of interaction observed in a medical facility can be transferred to staying in the confined place of space stations.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ

Ковачевич И.В., Поляков А.В., Кириченко В.В., Круглова А.Ю., Репенкова Л.Г., Ниязов А.Р.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

victoria.kirichenko@me.com

Сохранение жизни, здоровья и работоспособности членов экипажей, а также проведение адекватных лечебно-профилактических мероприятий в случае развития острых заболеваний или получения травм космонавтами, является приоритетной задачей космической медицины.

Деятельность экипажей при выполнении орбитальных и межпланетных космических полетов (КП) сопряжена с высокими медицинскими рисками.

Помимо медицинских рисков, обусловленных воздействием специфических факторов КП и его длительностью, существуют техногенные риски, связанные с нарушениями в работе технических систем жизнеобеспечения, аппаратурными и программными сбоями в работе медицинского оборудования и бортовых тренажеров, а также с возможными аварийными ситуациями.

В связи с этим совершенствование системы медицинского сопровождения пилотируемых космических полетов является актуальной и своевременной задачей.

Разработаны и поставлены на борт РС МКС медицинские укладки:

– укладка «Шприцы с предварительным наполнением»;

– укладка «Шины».

Для оказания медицинской помощи космонавтам в полете используются средства, входящие в состав бортовых аптечек (космические корабли) и медицинских укладок (орбитальные станции).

Использование этих средств позволяет оказать не только неотложную медицинскую помощь (медукладки: НП-2, «Шприцы с предварительным наполнением» и др.), но и провести непосредственно в полете необходимые диагностические и лечебные мероприятия при наиболее вероятных неосложненных заболеваниях.

Для их диагностики и лечения в настоящее время на РС МКС используются специализированные медицинские укладки: «ЛОР»; «Стоматология» и др.

В ГНЦ РФ – ИМБП РАН продолжаются работы, направленные наповышение эффективности оказания медицинской помощи в космическом полете.

На стадии завершения находится опытно-конструкторская работа по разработке новой специализированной медицинской укладки «Дефибриллятор», которая должна в ближайшее время быть доставлена на РС МКС.

IMPROVEMENT OF THE MEDICAL SUPPORT SYSTEM FOR SPACE MISSIONS

Kovachevich I.V., Polyakov A.V., Kirichenko V.V., Kruglova A.Yu., Repenkova L.G., Niyazov A.R.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

victoria.kirichenko@me.com

The preservation of life, health, and performance of crew members, as well as the implementation of appropriate therapeutic and preventive measures in the event of acute illnesses or injuries during space missions, is a top priority of space medicine.

Crew activities during orbital and interplanetary space flights are associated with high medical risks.

In addition to risks caused by the specific factors of spaceflight and its duration, there are also technogenic risks related to malfunctions in life-support systems, hardware and software failures of medical equipment and onboard exercise devices, as well as potential emergency situations.

Therefore, the improvement of the medical support system for manned space missions is a timely and pressing task.

Medical kits have been developed and delivered onboard the Russian Segment of the ISS, including:

- The Pre-Filled Syringes Medical Kit;
- The Immobilisation Medical Kit.

Medical assistance to astronauts during spaceflight is provided using supplies from onboard medical kits (spacecraft) and specialized medical kits (orbital stations).

The use of these tools allows not only for emergency medical aid (e.g., NP-2 Medical Kit, Pre-Filled Syringes Medical Kit, etc.) but also for conducting necessary diagnostic and therapeutic procedures during the flight for the most likely uncomplicated conditions.

Currently, for diagnosis and treatment, the Russian Segment of the ISS is equipped with specialized medical kits such as the ENT Medical Kit, Dental Medical Kit, among others.

The Russian Academy of Sciences IBMP RAS continues to work on enhancing the effectiveness of medical care during space missions.

A new specialized Defibrillator Medical Kit is currently in the final stages of development and is expected to be delivered to the Russian Segment of the ISS in the near future.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГЕНЕРАЦИИ, НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ГЕРМЕТИЧНЫХ ОБИТАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Ковбасюк И.Е., Калечиц В.И., Антонов Е.А., Шахов М.Н., Хозяшева Е.С., Василевский А.В.

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

kovbasyuk.ivan@gmail.com

В рамках работ по разработке методов повышения безопасности сложных технических систем с высокой ценой аварии Институт информационных технологий (ИИТ) НИЦ «Курчатовский институт» совместно с Институтом медико-биологических проблем (ИМБП) РАН и биологическим факультетом МГУ принимает участие в международном проекте SIRIUS (Scientific International Research In Unique terrestrial Station), посвященном проблеме длительного пребывания людей в герметичном замкнутом пространстве, в котором микрозагрязнения накапливаются чрезвычайно быстро. Контроль за динамикой накопления микрозагрязнений в воздушной среде важен как с точки зрения гигиены и охраны здоровья находящихся в помещении людей, так и с точки зрения отслеживания роста концентрации частиц техногенного происхождения, поскольку такое явление служит индикатором нештатной ситуации вплоть до аварийной. Эти исследования важны для повышения безопасности работы сложных технических систем с высокой ценой аварии: объектов с замкнутым воздушным пространством (таких как космические аппараты, убежища, АПЛ и др.); объектов атомной промышленности; управляющих компьютерных сетей и др. НИЦ КИ принимает участие в проекте с 2019 г.

В течение эксперимента SIRIUS 23/24 проводились отборы воздушной пробы в пяти помещениях Наземного экспериментального комплекса (НЭК): кают-компании, спортзале, кухне, медмодуле и оранжерее с определенной периодичностью. На основании полученных в прошлых экспериментах SIRIUS данных в спортзале был установлен стационарный датчик аэрозольных частиц Remote. Измерения проводились по

4 каналам: 0,5 / 1,0 / 2,5 и 5,0 мкм в автоматическом режиме. Аэрозольные пробы отбирались в течение одной минуты (объем 1 пробы – 2,8 л) с периодичностью раз в 15 минут.

По результатам измерений строились графики для среднесуточных значений числа частиц в пробе, среднедневных и средненочных значений, а также максимальных и

минимальных значений за сутки, день и ночь. Данным концентрации частиц сопоставлялись данные температуры и относительной влажности с установленного в том же помещении стационарного датчика параметров среды. Дневные и ночные значения рассчитывались из условных периодов бодрствования членов экипажа с 8:00 утра до 22:00 вечера (день) и отдыха – с 22:00 вечера до 8:00 утра следующего дня (ночь).

В течение ночи, за счет работы системы вентиляции, наблюдалось снижение концентрации крупных частиц (более 5,0 мкм) до нуля, а также периодическое снижение до нуля концентрации частиц среднего (1,0 мкм) и субмикронного (0,5 мкм) размера при условии длительного отсутствия людей в помещении.

Фиксация среднесуточных значений на протяжении всего эксперимента позволяет наблюдать общий тренд изменения концентрации взвешенных частиц в воздухе помещения безотносительно локальных факторов кратковременного роста, т.е. накопление аэрозолей в рамках отдельного помещения.

На основании полученных данных видно, что в течение первых полутора месяцев после начала эксперимента концентрация частиц стабильно возрастает во всем диапазоне размеров, после чего стабилизируется и колеблется в определенном, хоть и широком диапазоне величин. Также была зафиксирована периодичность циклов роста и снижения концентрации в помещении. Продолжительность циклов роста составляла примерно три недели, когда концентрация взвешенных в воздухе частиц возрастала и достигала близких к максимальным значений с кратковременными снижениями до «средненормального» уровня, а продолжительность циклов снижения составляла одну неделю, когда концентрация снижалась и не наблюдалось значительных всплесков. По всей видимости, это связано с графиком тренировок членов экипажа в спортзале и периодичностью тренировок и плановых исследований физической активности. Данное предположение подтверждается характерной цикличностью именно для среднедневных значений, для средненочных (с поправкой на разный базовый уровень концентрации) подобной картины не наблюдается, а для среднесуточных цикличность не так ярко выражена за счет более низких ночных значений.

С помощью переносного счетчика частиц Handheld с установленной периодичностью проводились отборы пробы воздуха в 5 помещениях: кают-компании, кухне, медмолуле, спортзале и оранжерее. Измерения проводились в течение 1 минуты (объем пробы – 2,8 л) с периодичностью 15 минут в течение 1 суток поочередно в каждом из пяти помещений. Счетчиком Handheld проводились измерения в более широком диапазоне размеров: 0,3 / 0,5 / 1,0 / 2,5 / 5,0 и 10,0 мкм, дополнительно вычислялись значения массовой концентрации PM2,5 и PM10. Результаты измерений, полученных в спортзале одновременно двумя счетчиками, сравнивались. Была экспериментально показана корреляция их результатов. Корреляция наиболее отчетливо проявляется для частиц субмикронного и среднего диапазона, т.к. в меньшей степени подвержена влиянию локальных факторов на установленные в разных точках одного помещения приборы. Также в каждом из помещений проводились отборы микробиологических проб на чашки Петри. Микробиологический отбор проб сопровождался измерениями счетной концентрации частиц установленным рядом счетчиком частиц с целью дальнейшего сопоставления результатов измерений с результатами микробиологического анализа.

Приказ № 5483 7 п. 8.5.

INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF GENERATION, ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF AEROSOL CONTAMINATION IN THE AIR ENVIRONMENT OF HERMETIC INHABITED OBJECTS

Kovbasyuk I.E., Kalechits V.I., Antonov E.A., Shakhov M.N., Khozyasheva E.S., Vasilevskiy A.V.

NRC «Kurchatov Institute», Moscow, Russia

kovbasyuk.ivan@gmail.com

As part of the work on developing methods to improve the safety of complex technical systems with a high cost of an accident, the Institute of Information Technology (IIT) NRC «Kurchatov Institute» in cooperation with the Institute of Biomedical Problems (IMBP) of The Russian Academy of Sciences and the Faculty of Biology of Moscow State University are participating in the SIRIUS (Scientific International Research In Unique terrestrial Station) project, dedicated to the problem of people staying in a closed hermetic space for a long time, in

which airborne contamination accumulates extremely quickly. Monitoring the accumulation dynamics of airborne contamination is important for both hygiene and health protection of people, and for tracking the concentration growth of particles of manmade origin, since this phenomenon serves as an indicator of a preemergency situation up to an emergency. These studies are important for improving the safety of complex technical systems with a high cost of an accident: objects with enclosed airspace (such as spacecraft, shelters, nuclear submarines, etc.); nuclear industry facilities; control computer networks, etc. The Kurchatov Institute has been participating in the project since 2019.

During the SIRIUS 23/24 experiment, air samples were taken in five rooms of the Ground-based Experimental Complex (GEC): a lounge, a gym, a kitchen, a medical module and a greenhouse with a certain frequency. Based on the data obtained in previous SIRIUS experiments, a stationary aerosol particle counter Remote was installed in the gym. The samples were carried out on 4 channels: 0,5 / 1,0 / 2,5 and 5.0 microns in automatic mode. Aerosol samples were taken for one minute (the volume of 1 sample was 2.8 liters) with a frequency of once every 15 minutes.

Based on the measurement results, graphs were constructed for the daily average values of the number of particles in the sample, the average values for a day and for a night, as well as the maximum and minimum values for 24 hours, day and night. The particle concentration data was compared with temperature and relative humidity data from a stationary environmental sensor installed in the same room. Day and night values were calculated from the conditional periods of wakefulness of the crew members from 8:00 a.m. to 22:00 p.m. (day) and rest – from 22:00 p.m. to 8:00 a.m. the next day (night).

During the night, due to the operation of the ventilation system, the concentration decrease of large particles (more than 5.0 microns) down to zero was observed, as well as a periodic the concentration decrease of particles of medium (1.0 microns) and submicron (0.5 microns) size down to zero, subject to prolonged absence of people in the room.

Recording the average daily values throughout the experiment allows us to observe the general trend of airborne particles concentration changes, regardless of local factors of short-term growth, i.e. accumulation of aerosols within a separate room.

Based on the data obtained, during the first month and a half after the start of the experiment, the number concentration of particles steadily increases over the entire size range, after which it stabilizes and fluctuates in a certain, albeit wide range of values. The regularity of growth and decrease cycles of concentration in the room was also recorded. The duration of the growth cycles was approximately three weeks, when the concentration of particles suspended in the air increased and reached close to maximum values with short-term decreased to an «average normal» level, and the duration of the decrease cycles was one week, when the concentration decreased and no significant spikes were observed. Apparently, this is due to the training schedule of the crew members in the gym and the frequency of training and routine physical activity studies. This assumption is confirmed by the characteristic cyclicity for the daytime average values, for the night-time average values (adjusted for different baseline concentration levels) there is no such pattern, and for the daily average values the cyclicity is not so expressed due to lower night values.

Using a Handheld portable particle counter, air samples were taken at regular intervals in 5 rooms: a lounge, a kitchen, a medical room, a gym and a greenhouse. The measurements were carried out for 1 minute (sample volume – 2.8 liters) with a frequency of once in 15 minutes for a day alternately in each of the five rooms. The Handheld counter carried out samples in a wider range of sizes: 0,3 / 0,5 / 1,0 / 2,5 / 5,0 and 10.0 microns, the values of the mass concentration of PM2.5 and PM10 were additionally calculated. The results of measurements taken in the gym were compared simultaneously by two counters. The correlation of their results was experimentally shown. The correlation is most clearly manifested for particles of the submicron and medium range, since it is less susceptible to the influence of local factors on devices installed at different points in the same room. Microbiological samples on Petri dishes were also taken in each of the rooms. Microbiological sampling was accompanied by measurements of the particle concentration by a nearby particle counter to compare the measurement results with the results of microbiological analysis.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ПРОФИЛАКТИКИ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Кокуева М.А.[1], Бахтерева В.Д.[1], Фомина Е.В.[1, 2]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия
[2]НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина, Москва, Россия

kokueva.m@yandex.ru

Современная гравитационная физиология создает научную основу для перехода от орбитальных пилотируемых космических полетов к полетам человека в дальний космос. Отсутствие возможности срочно эвакуировать экипаж с места посадки и провести реабилитационные мероприятия обусловит необходимость поддержания уровня физической работоспособности, необходимого для выполнения внекорабельных наплanетных операций. Новые требования к уровню физической работоспособности ставят задачу повышения эффективности системы профилактики негативных эффектов невесомости с учетом индивидуальных особенностей космонавтов. Одно из направлений совершенствования системы дозирования интенсивности циклической физической нагрузки – это учет индивидуального ответа сердечно-сосудистой системы на нагрузку по частоте сердечных сокращений (ЧСС). Важным этапом отработки технологий и методик для полетов в дальний космос являются длительные изоляционные эксперименты. В таких экспериментах возможно моделирование некоторых факторов длительного космического полета: автономность, замкнутая среда, стандартные условия температуры и питания, снижение уровня двигательной активности, сенсорная депривация. В годовой добровольной изоляции SIRIUS-23, результаты которой представлены в данной статье, был сделан упор на отработку и определение эффективности индивидуальных тренировочных воздействий. Одной из задач нашего исследования также являлось тестирование 15-минутных тренировочных протоколов. Данные протоколы были разработаны в ответ на запрос международной группы по профилактике о создании эффективных протоколов тренировки для периодов космического полета, когда время космонавта ограничено.

Добровольная изоляция продолжительностью 1 год в эксперименте SIRIUS-23 проводилась в наземном экспериментальном комплексе ГНЦ РФ – ИМБП РАН (г. Москва) в 2023–2024 году. В исследовании приняли участие 6 испытателей – двое мужчин и четыре женщины в возрасте от 26 до 38 лет. Рост 169 ± 13 см. Индекс массы тела составлял 23,2 ± 2,3 кг/м². Участники эксперимента имели разный уровень физической подготовленности и разный опыт физических тренировок. Исследование одобрено комиссией по биоэтике ИМБП РАН (протокол № 643 от 07 июля 2023 г.). Все участники изоляции подписали информированное согласие на участие в эксперименте.

Система физических тренировок была построена по принципу 4-дневного микроцикла (3 дня тренировок + 1 день отдыха) по аналогии с тренировками космонавтов на МКС. Микроциклы были объединены в 20-дневные мезоциклы, после которых сразу проводились нагрузочные тестирования. Всего за период эксперимента испытатели выполнили 10 тренировочных мезоциклов. Тренировки и тесты выполнялись на беговой дорожке «H/P/Cosmos Gaitway II» в активном (моторизированном) режиме движения полотна, беговой дорожке «Koenigsmann MS1.0» в пассивном (механическом) режиме движения полотна и велоэргометре «Ergoselect 150». Тренировочная нагрузка была индивидуальной для каждого испытателя и рассчитывалась на основе результатов нагрузочного теста, а также корректировалась при необходимости по результатам тренировочного микроцикла. Каждый микроцикл включал применение всех трех тренировочных средств, порядок чередования средств менялся в каждом следующем микроцикле. Тренировки выполнялись с регистрацией ЧСС (Polar), тестирования – с регистрацией ЧСС и показателей газоанализа (Cosmed K5). В эксперименте применялись два типа тренировочных протоколов – «стандартный» продолжительностью около 30 мин и «укороченный» продолжительностью около 15 мин. Укороченный тренировочный протокол был составлен на основе методики Tabata и включал короткие интервалы (20 с) со скоростями, превышающими на 1–2 км/ч максимальную скорость, достигнутую в нагрузочном тестировании. Отдых между «ускорениями» был строго регламентирован и составлял 10 с. В начале эксперимента был предусмотрен период без выполнения тренировок (0–24 сутки). Далее каждый мезоцикл предполагал выполнение только одного типа протоколов (30 минут или 15 минут). Первый мезоцикл был вводным и состоял из 30-минутных тренировок. Последующие восемь мезоциклов выполнялись блоками по два (два по 15 минут, два по 30 минут и т.д.). Заключительный 10-й мезоцикл представлял собой период «тренировок по выбору», в ходе которого испытатели могли выбирать любой из тренировочных протоколов по своему усмотрению. Заключительные 20 суток изоляции не предусматривали выполнения тренировок. Статистический

анализ данных был выполнен в программе Graph Pad Prizm 8 на основе непараметрического метода ANOVA с поправкой на множественные сравнения и с применением непараметрического критерия Вилкоксона.

Зарегистрировано снижение массы тела у испытателей начиная с 7-й тестовой сессией по сравнению с 1-й ($p < 0,05$). Индекс массы тела (ИМТ) в группе испытателей достоверно снизился с 23,2 ± 2,3 кг/м^2 до 20,7 ± 1,3 кг/м^2 к концу изоляции ($p = 0,003$). Максимальная скорость бега снизилась после первого месяца изоляции (когда отсутствовали тренировки) и достоверно выросла к 7–12 сессии в сравнении с тестированием после первого месяца эксперимента ($p < 0,05$). Пиковое потребление кислорода (VO2 peak), отнесенное к массе тела, снизилось в сравнении с фоном во второй сессии ($p = 0,02$) после введения 30-минутных протоколов тренировок, и начало расти относительно второй сессии с 7 по 12 тестирования ($p < 0,05$). Также зарегистрирован прирост VO2 peak (мл/кг/мин) в 12 сессии в сравнении с 1,3 и 6 сессиями ($p < 0,05$). Однако абсолютные значения VO2 peak (мл/мин) достоверно не изменились. Частота сердечных сокращений на стандартной ступени теста достоверно ($p < 0,05$) снизилась к 3-й и 7-й тестовым сессиям изоляции относительно фоновых значений. Выполнение двух мезоциклов тренировочных протоколов длительностью 15 минут привели к достоверному ($p = 0,0293$) снижению ЧСС на стандартной ступени теста, что говорит об эффективности данных протоколов в сохранении работоспособности.

Таким образом, применение индивидуальных программ профилактики позволило эффективно противодействовать сниженному уровню двигательной активности у испытателей в эксперименте с годичной изоляцией. Наблюдалось значимое снижение ЧСС на стандартной ступени бега в третьем тестировании в изоляции и восстановление фоновых показателей VO2 peak и максимальной скорости бега под воздействием тренировок. Были разработаны и оценены новые для российской системы профилактики тренировочные подходы с применением 15-минутных тренировок. Эффективность 15-минутных протоколов не уступает эффективности тренировок стандартной продолжительности (30 минут), наблюдается достоверное снижение ЧСС на стандартной ступени теста после выполнения двух мезоциклов 15-минутных тренировок. Результаты работы можно отнести к технологиям двойного назначения, разработка принципов персонифицированного подхода в противодействии сниженному уровню двигательной активности актуальна как для современного человека на Земле, так и для практики длительных космических полетов.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ - ИМБП РАН (№ FMFR-2024-0037).

DETERMINING THE EFFECTIVENESS OF INDIVIDUAL COUNTERMEASURE PROGRAMS TO PREVENT THE NEGATIVE IMPACT OF LONG-TERM ISOLATION

Kokueva M.A.[1], Bakhtereva V.D.[1], Fomina E.V.[1, 2]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Gagarin Research and Test Cosmonaut Training Center, Star City, Moscow Region, Russia

kokueva.m@yandex.ru

Modern gravitational physiology creates a scientific basis for transition from orbital manned space flights to human deep space missions. Lack of possibility to evacuate the crew from the descent vehicle urgently and to carry out rehabilitation measures will determine the necessity to maintain the level of physical performance required for performing extravehicular on-planet operations. New requirements to the level of physical performance set the task of increasing the efficiency of countermeasures to negative effects of weightlessness taking into account individual characteristics of cosmonauts. One of the directions of improving the system of dosing the intensity of aerobic exercise is to take into account the individual response of the cardiovascular system to the load by heart rate (HR). Long-term isolation experiments are an important stage in the development of technologies for deep space missions. In such experiments it is possible to simulate some of the factors of long-duration space flight: autonomy, confined environment, standard conditions of temperature and nutrition, reduced level of motor activity, sensory deprivation. In the SIRIUS-23 annual voluntary isolation, the results of which are presented in this article, the emphasis was placed on practicing and determining the effectiveness of individual training programs. One of the objectives of our study was also to test 15-minute training protocols. These protocols were developed in response to a request from an international countermeasure working group for effective training protocols for periods of space flight when cosmonaut's time is limited.

Voluntary isolation lasting 1 year in the SIRIUS-23 experiment was conducted in the ground-based experimental complex of the State Research Centre of the Russian Federation – IMBP RAS (Moscow) in 2023–2024. The study

involved 6 volunteers - two men and four women aged 26 to 38 years. Height 169 ± 13 cm. Body mass index was 23.2 ± 2.3 kg/m². The participants of the experiment had different levels of physical fitness and different experience of physical training. The study was approved by the bioethics commission of the IMBP RAS (protocol №643 from 07 July 2023). All participants signed informed consent to participate in the experiment.

The physical training system was based on the principle of a 4-day microcycle (3 days of training + 1 day of rest) similar to the training of cosmonauts on the ISS. The microcycles were combined into 20-day mesocycles, which were followed by cardiorespiratory testing. In total, the volunteers performed 10 training mesocycles during the experiment period. Training and tests were performed on the H/P/Cosmos Gaitway II treadmill in active (motorised) mode, the Koenigsmann MS1.0 treadmill in passive (mechanical) mode and the Ergoselect 150 cycle ergometer. The training load was individualised for each volunteer and was calculated based on the results of the stress test and adjusted as necessary based on the results of the training microcycle. Each microcycle included the use of all three exercisers, the order of alternation of exercisers was changed in each subsequent microcycle. Training was performed with HR recording (Polar), testing was performed with HR and gas analysis (Cosmed K5). Two types of training protocols were used in the experiment: a 'standard' protocol lasting about 30 min and a 'shortened' protocol lasting about 15 min. The shortened training protocol was based on the Tabata methodology and included short intervals (20 s) at speeds 1–2 km/h higher than the maximum speed achieved in the cardiorespiratory test. Rest between intervals was 10 s. At the beginning of the experiment there was a period with no exercise training (0-24 days). Thereafter, each mesocycle involved performing only one type of protocol (30 min or 15 min). The first mesocycle was introductory and consisted of 30-minute workouts. The subsequent eight mesocycles were performed in blocks of two (two 15 minutes, two 30 minutes, etc.). The final 10th mesocycle was a period in which volunteers could choose any of the training protocols at will. The final 20 days of isolation did not include any training sessions. Statistical analysis of the data was performed in Graph Pad Prizm 8 software using non-parametric ANOVA with correction for multiple comparisons and the non-parametric Wilcoxon test.

A decrease in body weight was recorded starting from the 7th test session compared to the 1st test session ($p < 0.05$). Body mass index (BMI) in the test group significantly decreased from 23.2 ± 2.3 kg/m^2 to 20.7 ± 1.3 kg/m^2 by the end of isolation ($p = 0.003$). Maximum running speed decreased after the first month of isolation (when there was no training) and increased significantly by session 7–12 compared to testing after the first month of the experiment ($p < 0.05$). Peak oxygen consumption (VO2 peak) related to body weight decreased compared to baseline in the second session ($p=0.02$) after the period of 30-minute exercise protocols, and began to increase relative to the second session from 7-12 testing ($p < 0.05$). An increase in VO2 peak (ml/kg/min) was also recorded in session 12 compared to sessions 1,3 and 6 ($p < 0.05$). However, the absolute values of VO2 peak (ml/min) did not change significantly. Heart rate at the standard step of the test decreased significantly ($p < 0.05$) by the 3rd and 7th isolation test sessions relative to baseline values. Performing two mesocycles of training protocols of 15 minutes duration resulted in a significant ($p = 0.0293$) decrease in HR on the standard step of the test, indicating the effectiveness of these protocols in preserving performance.

Thus, the application of individualised countermeasure programs made it possible to effectively counteract the reduced level of motor activity in the volunteers in the one-year isolation experiment. A significant decrease in HR at the standard step of running in the third test in isolation and recovery of baseline VO2 peak and maximal running speed under the influence of training were observed. Training approaches using 15-minute training sessions were developed and evaluated, which are new for the Russian countermeasure system. The effectiveness of 15-minute protocols is not inferior to the effectiveness of training of standard duration (30 minutes), there is a significant decrease in HR at the standard step of the test after performing two mesocycles of 15-minute training. The results of the work can be attributed to dual-purpose technologies; the development of the principles of personalised approach in counteracting the reduced level of motor activity is relevant both for modern humans on Earth and for the practice of long-duration space flights.

The work was carried out within the framework of the fundamental research program of the State Research Centre of the Russian Federation - IMBP RAS (No. FMFR-2024-0037).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕСТНЫХ ИНТРАВАГИНАЛЬНЫХ АУТОПРОБИОТИЧЕСКИХ КАПСУЛ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Комиссарова Д.В., Заруцкая Э.К.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

komissarova@imbp.ru

В настоящее время ряд работ, касающихся исследования здоровья человека в изоляционных условиях, убедительно показывают, что продолжительное пребывание в замкнутом пространстве серьезно ослабляет защитные механизмы организма. Длительная изоляция оказывает комплексное отрицательное воздействие на важнейшие системы человеческого организма. Страдают дыхательные пути, кожный покров, пищеварительная система и ротовая полость. Каждая из этих систем испытывает определенные изменения, которые могут привести к различным нарушениям в их работе.

Особую озабоченность вызывает состояние микробиома женских половых органов. Современные исследования выявили тревожную тенденцию: при длительном нахождении в изолированных условиях происходит значительное ухудшение качества микрофлоры влагалища и цервикального канала. Эти изменения могут иметь серьезные последствия для женского здоровья и требуют особого внимания со стороны специалистов.

Целью настоящего исследования является изучение эффективности местных аутопробиотических препаратов, созданных на основе индивидуальных штаммов лактобацилл, выделенных из вагинального биотопа, у испытательниц годового изоляционного эксперимента SIRIUS-23. Важным аспектом работы являлась оценка стабильности и сохранения эффективности разработанного препарата при длительном хранении в условиях стандартного температурного режима (+4 °C).

В исследовании принимало участие 4 испытательницы, которые входили в состав экипажа из 6 человек изоляционного эксперимента «SIRIUS-23», продолжительностью 365 суток, целью которого стояло изучение механизмов адаптации человека к условиям длительной изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания, имитирующей пилотируемый космический полет. Эксперимент был одобрен биоэтической комиссией ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 643 от 7 июля 2023 года). Четыре участницы эксперимента получали персонализированные пробиотические капсулы, созданные на основе их собственных штаммов *Lactobacillus crispatus.* Такой индивидуальный подход обеспечивал максимальную совместимость и эффективность препарата. Капсулы содержали 10^7 КОЕ/мл лиофилизированных бактерий и применялись по специальной схеме: первый курс – в первые 30 дней изоляции, второй – за 30 дней до завершения эксперимента. График приема капсул подбирался индивидуально с учетом менструального цикла каждой участницы, при этом использование капсул временно приостанавливалось во время менструации.

Для оценки состояния микрофлоры использовалось культуральное на селективных питательных средах с учетом специфики различных групп микроорганизмов, а также для видовой идентификации применялся масс-спектрометрический метод MALDI-TOF-MS. Заборы материала проводились в 9 контрольных точек: перед началом изоляции, на 36, 64, 102, 123, 186, 256 и 339-е сутки эксперимента, а также через 10 дней после его окончания.

Наиболее значимые изменения микрофлоры наблюдались на 102-е сутки эксперимента, что совпало с нештатной ситуацией, связанной с ограничением количества еды и воды с 95-х по 114-е сутки, в связи с задержкой отправки «грузового корабля» к лунной станции. В этот момент было зафиксировано резкое увеличение количества условно-патогенных микроорганизмов (*G. vaginalis*, *E. coli*, *S. Anginosus*, *S. epidermidis*) и одновременное снижение уровня протективных лактобацилл (*L. vaginalis*, *L. crispatus*). Все это является нарушением нормального баланса микрофлоры.

Однако уже к 123-м суткам началось восстановление микробного равновесия, а к завершению эксперимента (339-е сутки) было отмечено достоверное снижение патогенной флоры и увеличение количества *L. vaginalis*.

Полученные данные в конце изоляции свидетельствуют о стабилизации микробиоты влагалища благодаря применению аутопробиотических капсул.

Особый интерес представляют данные, полученные через 10 дней после выхода из изоляции. Анализ показал значительное увеличение количества *L. crispatus* – именно тех штаммов, которые использовались в аутопробиотических капсулах. Это свидетельствует о длительном защитном эффекте препарата.

Исследование подтвердило несколько важных положений:

1. Персонализированные аутопробиотики значительно эффективнее стандартных препаратов.

2. Оптимальная схема применения включает:
– начальный курс в первые дни изоляции;
– профилактический прием перед предполагаемыми стрессовыми ситуациями;
– заключительный курс перед выходом из изоляции.
3. Препарат сохраняет стабильность и эффективность при длительном (до 12 месяцев) хранении при температуре +4 °C

Эти выводы имеют важное значение для планирования длительных космических миссий, где поддержание здорового микробиома всех биотопов становится критически важной задачей. Полученные данные открывают новые возможности для разработки эффективных средств профилактики дисбиотических нарушений в экстремальных условиях.

FRFM-2024-0035.

STUDY ON THE EFFICACY OF LOCAL INTRAVAGINAL AUTOPROBIOTIC CAPSULES UNDER PROLONGED ISOLATION CONDITIONS

Komissarova D.V., Zarutskaya E.K.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

komissarova@imbp.ru

Currently, a number of studies on human health in isolation convincingly demonstrate that prolonged confinement significantly weakens the body's defense mechanisms. Long-term isolation has a complex negative impact on the most critical systems of the human body. The respiratory tract, skin, digestive system, and oral cavity are all affected. Each of these systems undergoes specific changes that can lead to various functional impairments.

Of particular concern is the state of the female genital microbiome. Modern research has revealed an alarming trend: prolonged stay in isolated conditions leads to a significant deterioration in the quality of the vaginal and cervical canal microbiota. These changes can have serious consequences for women's health and require special attention from specialists.

The aim of this study was to evaluate the efficacy of local autoprobiotic capsules based on individual strains of lactobacilli isolated from the vaginal biotope in female participants of the year-long isolation experiment «SIRIUS-23.» An important aspect of the study was assessing the stability and sustained efficacy of the developed preparation during long-term storage under standard temperature conditions (+4 °C).

The study involved four female participants who were part of a six-member crew in the 365-day SIRIUS-23 isolation experiment. The experiment aimed to study human adaptation mechanisms to prolonged isolation in sealed compartment simulating a manned spaceflight. The study was approved by the Bioethics Committee of the State Research Center of the Russian Federation – IBMP RAS (Protocol No. 643, July 7, 2023).

The four participants received personalized probiotic capsules based on their own *Lactobacillus crispatus* strains. This individualized approach ensured maximum compatibility and efficacy of the preparation. The capsules contained 10^7 CFU/mL of lyophilized bacteria and were administered according to a specific regimen: the first course during the initial 30 days of isolation and the second course 30 days before the experiment's end. The regimen was tailored individually, taking into account each participant's menstrual cycle, with capsule use temporarily suspended during menstruation.

Microbiota status was assessed using selective culture media tailored to different microbial groups, with species identification performed via MALDI-TOF mass spectrometry. Sampling was conducted at nine control points: before isolation, on days 36, 64, 102, 123, 186, 256, and 339 of the experiment, and 10 days after its completion.

The most significant microbiota changes were observed on day 102, coinciding with an emergency situation involving restricted food and water supply from days 95 to 114 due to a delayed «cargo ship» arrival at the lunar station. At this point, a sharp increase in opportunistic pathogens number (*G. vaginalis, E. coli, S. anginosus, S. epidermidis*) was recorded, alongside a simultaneous decline in number of protective lactobacilli (*L. vaginalis, L. crispatus*), indicating a disruption of normal microbiota balance.

However, by day 123, microbial equilibrium began to recover, and by the experiment's conclusion (day 339), a significant reduction in pathogenic flora and an increase in *L. vaginalis* number were observed.

The data obtained at the end of isolation indicate stabilization of the vaginal microbiota due to the use of autoprobiotic capsules.

Of particular interest are the results obtained in 10 days after isolation completion. Analysis revealed a significant increase in *L. crispatus* number – the same strains used in the autoprobiotic capsules – demonstrating the capsules' long-term protective effect.

The study confirmed several key findings:

1. Personalized autoprobiotics are significantly more effective than standard ones.
2. The optimal administration regimen includes:

– an initial course during the first days of isolation;
– preventive use before anticipated stressful situations;
– a final course before exiting isolation.

3. The capsules maintain stability and efficacy during long-term storage (up to 12 months) at +4°C.

These findings are crucial for planning long-duration space missions, where maintaining a healthy microbiome across all biotopes becomes a critical task. The results open new possibilities for developing effective countermeasures against dysbiotic disorders in extreme environments.

FRFM-2024-0035.

ИММУННАЯ РЕГУЛЯЦИЯ В УСЛОВИЯХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ: КЛЕТОЧНЫЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Кофиади И.А.

ГНЦ Институт иммунологии ФМБА России, Москва, Россия

kofiadi@mail.ru

Космическая радиация является ключевым фактором риска при длительном пребывании в космическом пространстве. Основными источниками данной радиации выступают галактические космические лучи, радиационные пояса Земли и солнечные космические лучи. При межпланетных полетах суммарная доза радиационного облучения значительно превышает уровни, характерные для земной поверхности, и оказывает кумулятивное негативное влияние на организм человека. В частности, за один год пребывания на Международной космической станции экипаж получает дозу до 200 мЗв, что примерно в десять раз превышает допустимые нормы для работников атомной промышленности. Основные клинические риски радиационного воздействия связаны с повреждением клеток и хромосом, повышением риска онкогенеза, нарушениями в центральной нервной системе, ухудшением когнитивных функций и развитием неврологических расстройств. Иммунная система, являясь одной из наиболее чувствительных к радиации систем организма, играет интегративную роль в регуляции реакций на множество внешних и внутренних факторов, поддерживая гомеостаз в изменчивой среде, низкодозовое облучение ионизирующим излучением приводит к сложным изменениям в популяциях Т-лимфоцитов и других компонентов иммунного ответа. Так длительный мониторинг контингентов, работающих в условиях повышенного радиационного риска, показал, что кумулятивные дозы менее 100 мЗв стимулируют преимущественное доминирование Т-хелперов 1 типа (Thl), продуцирующих провоспалительные цитокины, тогда как дозы, превышающие 100–200 мЗв, вызывают сдвиг иммунного ответа в сторону Th2, ответственного за противовоспалительные процессы. При низких дозах наблюдаются адаптивные иммунные реакции, а при более высоких — компенсаторные механизмы, направленные на восстановление равновесия между субпопуляциями лимфоцитов. В целом отмечается снижение количества наивных CD4+ Т-лимфоцитов с накоплением доз выше 25 мЗв, что связано с их повышенной радиочувствительностью и индукцией апоптоза. Также выявлена тенденция к уменьшению цитотоксических CD8+CD2S+ Т-лимфоцитов при дозах выше 100 мЗв. Нарушения иммунологического баланса сопровождаются изменениями в распределении NK-клеток: наблюдается преобладание подтипа CD3+CD16+/CD56+ (NK-Т-клеток) над CD3-CD16+/CD56+ (NK-клетками), а также снижением эффективности гуморального иммунитета и повышением маркеров клеточной активации и готовности к апоптозу. С клинической точки зрения радиационно-индуцированные расстройства иммунной системы могут приводить к снижению общей резистентности организма, повышению чувствительности к инфекциям, способствовать формированию затяжных и хронических заболеваний. Радиационное поражение иммунокомпетентных клеток может вызывать развитие вторичной иммунной недостаточности и иммунодефицитов, структура и выраженность которых зависят от характера и дозы облучения и исходного физиологического состояния организма. В отдаленном после облучения периоде последствия могут проявляться ускоренным старением иммунной системы, повышением риска и частоты злокачественных новообразова-

ний вследствие ослабления иммунного надзора, сокращением продолжительности жизни. Таким образом, ионизирующее излучение оказывает значимое воздействие на человека, вызывая при даже низкодозовом облучении долговременные изменения в балансе различных Т-клеточных субпопуляций и цитокинов, что имеет важное значение для оценки рисков и мониторинга здоровья лиц, подвергающихся космическому радиационному облучению. ФГБУ «ГНЦ институт иммунологии» ФМБА России располагает обширными данными многолетнего клинико-иммунологического мониторинга за контингентами работников, трудящихся 8 условиях повышенного радиационного и химического риска.

Систематизация и анализ этих данных с использованием современных вычислительных методов позволяют выявить ключевые точки воздействия на адаптивные и защитные системы организма для оптимизации стратегии радиопротекции.

IMMUNE REGULATION UNDER CONDITIONS OF PROLONGED RADIATION EXPOSURE: CELLULAR AND MOLECULAR MECHANISMS

Kofiadi I.A.

Institute of Immunology FMBA of Russia, Moscow

kofiadi@mail.ru

Space radiation is a key risk factor associated with prolonged exposure in outer space. The primary sources of this radiation include galactic cosmic rays, the Earth's radiation belts, and solar cosmic rays. During interplanetary missions, the cumulative radiation dose significantly exceeds levels found on Earth and exerts a cumulative detrimental effect on the human body. Specifically, over the course of one year aboard the International Space Station, crew members may receive doses up to 200 mSv, approximately ten times higher than the occupational dose limits for nuclear industry workers. The main clinical risks of radiation exposure involve cellular and chromosomal damage, increased risk of oncogenesis, central nervous system impairments, cognitive decline, and neurological disorders. The immune system, recognized as one of the most radiosensitive physiological systems, plays an integrative role in modulating responses to a multitude of exogenous and endogenous factors, thereby maintaining homeostasis in dynamic environments. Low-dose ionizing radiation induces complex alterations in T-lymphocyte populations and other immune response components. Long-term monitoring of occupational cohorts exposed to elevated radiation risk has demonstrated that cumulative doses below 100 mSv favor a predominant Th1 immune response characterized by pro-inflammatory cytokine production, whereas doses exceeding 100–200 mSv shift the immune profile toward a Th2-dominated anti-inflammatory response. Adaptive immune reactions are observed at low doses, while higher doses elicit compensatory mechanisms aimed at restoring equilibrium among lymphocyte subpopulations. Notably, there is a general reduction in naive CD4+ T-lymphocytes with cumulative doses above 25 mSv, attributed to their heightened radiosensitivity and apoptosis induction. Additionally, a decreasing trend in cytotoxic CD8+CD28+ T-lymphocytes is observed at doses greater than 100 mSv. Immune dysregulation is further evidenced by changes in NK cell distribution, including dominance of CD3+CD16+/CD56+ (NK-T cells) over CD3–CD16+/CD56+ (NK cells), diminished humoral immunity efficiency, and elevated markers of cellular activation and apoptosis readiness. Clinically, radiation-induced immune disorders can lead to reduced overall organismal resistance, increased susceptibility to infections, and facilitation of chronic disease development. Radiation injury to immunocompetent cells may result in secondary immunodeficiency syndromes, the characteristics and severity of which depend on exposure dose, nature, and individual physiological status. Long-term consequences include accelerated immunosenescence, heightened risk and incidence of malignancies due to impaired immune surveillance, and decreased lifespan. Therefore, ionizing radiation significantly influences human health; even low-dose exposure engenders persistent modifications in the balance of T-cell subpopulations and cytokines, which bear critical implications for risk assessment and health monitoring of individuals subjected to cosmic radiation exposure. The NRC "Institute of Immunology" FMBA of Russia maintains extensive clinical-immunological datasets from cohorts working under heightened radiochemical risk conditions. Systematic analysis of these data, utilizing advanced computational approaches, facilitates identification of key physiological targets for adaptive and protective mechanisms, thereby optimizing radioprotective strategies.

ВНЕКОРАБЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В УСЛОВИЯХ 356-СУТОЧНОГО ИЗОЛЯЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА SIRIUS-2 И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СВЕРТЫВАЮЩУЮ СИСТЕМУ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

Кочергин А.Ю.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

a.kochergin_medbio@hotmail.com

Длительное воздействие неблагоприятных факторов окружающей среды, включая пребывание в условиях ограниченного пространства, может приводить к функциональным изменениям в компонентах коагуляционной системы крови. Баланс между прокоагулянтными, антикоагулянтными и фибринолитическими механизмами играет ключевую роль в обеспечении стрессоустойчивости и адаптационных резервов организма, выступая интегральным показателем функционального состояния различных физиологических систем. Предшествующие исследования, в которых изучалась регуляция гемостаза, продемонстрировали что длительная изоляция сопровождается повышением прокоагулянтной активности на начальных этапах и последующим ее снижением на более поздних сроках воздействия. Однако влияние моделируемой внекорабельной деятельности (ВКД), характеризующейся высокой физической нагрузкой, сопоставимой с силовыми или аэробными тренировками, на систему гемостаза в условиях изоляционных экспериментов остается недостаточно изученным. Во время ВКД испытуемые освобождались от регулярных кардиотренировок, что подчеркивает значительную физическую интенсивность этих задач. Условия изоляции, включая сенсорную депривацию, монотонию и ограниченность ресурсов, могли усиливать влияние стрессовых воздействий, связанных с выполнением задач во время имитируемой ВКД, вызывая таким образом изменения в коагуляционном и фибринолитическом звеньях гемостаза.

Основной целью данной работы явилось изучение влияния комплекса факторов имитируемой ВКД на потенциал свертывающей системы.

В исследовании приняли участие 6 человек обоих полов в возрасте от 27 до 38 лет. Взятие биоматериала венозной крови проводилось в фоновом периоде за 28 дней до начала воздействия, на 61–62-е, 124–125-е, 186–187-е, 250–251-е, 313–314-е, 354–355-е сутки эксперимента, а также на 5 день периода восстановления (ПВ). Взятие крови у членов экипажа, занятых в напланетной деятельности, проводилось за день до покидания ”космического корабля” и на следующий день после возвращения: на 61/67; 125/130; 187/193; 251/256; 314/319 сутки изоляции. В цитратной плазме измеряли концентрации плазминогена, фибриногена и D-димера, активность протеина С и антитромбина III, а также тромбиновое время, активированное частичное тромбопластиновое время (АЧТВ) и протромбиновое время. Исследования проводили стандартными клоттинговыми, хромогенными и иммунологическими методами на автоматическом коагулометре CA-1500 фирмы Sysmex (Япония) с использованием коммерческих наборов реагентов производства компании Siemens (Германия).

Статистическую обработку полученных данных проводили методами вариационной статистики. Достоверность различий между значениями фонового периода (-28-е сутки) и показателями, полученными в ходе изоляции и на 5-е сутки ПВ, а также между значениями до и после имитации ВКД определяли с помощью непараметрического критерия Уилкоксона.

При сравнении значений исследуемых параметров до и после имитации ВКД обнаружено статистически значимое повышение уровня D-димера на 130-е и 319-е сутки. При сравнении показателей, полученных после имитации ВКД с фоновыми значениями, было установлено достоверное увеличение активности антитромбина III и уменьшение концентрации D-димера на 130-е сутки, а также удлинение тромбинового времени на 193-и сутки. На уровне тенденций обнаруживалось удлинение АЧТВ на 193-и сутки и протромбинового времени на 319-е сутки. Значения остальных параметров достоверно не менялись, однако наблюдались индивидуальные различия в их динамике у испытуемых, что вероятно связано с гендерными особенностями и различным уровнем физической подготовки между участниками эксперимента.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что ВКД сопровождается изменениями в фибринолитическом и антикоагулянтном звеньях гемостаза. Значения интегральных показателей гемостаза, таких как протромбиновое, тромбиновое время и АЧТВ были удлинены относительно фоновых значений, что, вероятно, отражает влияние сниженной двигательной активности в ходе воздействия.

РАН FMFR-2024-0039.

EXTRAVEHICULAR ACTIVITY IN THE CONDITIONS OF THE 356-DAY ISOLATION EXPERIMENT SIRIUS-23 AND ITS IMPACT ON THE HUMAN BLOOD COAGULATION SYSTEM

Kochergin A.Yu.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

a.kochergin_medbio@hotmail.com

Prolonged exposure to adverse environmental factors, including confinement in restricted spaces, can induce functional changes in the components of the blood coagulation system. The balance between procoagulant, anticoagulant, and fibrinolytic mechanisms plays a critical role in ensuring stress resilience and the adaptive capacity of the human body, serving as an integrative indicator of the functional state of various physiological systems. Previous studies on hemostasis regulation have demonstrated that prolonged isolation is associated with an increase in procoagulant activity during the initial stages, followed by its attenuation at later stages of exposure. However, the impact of simulated extravehicular activity (EVA), characterized by high physical exertion comparable to strength or aerobic training, on the hemostatic system in the context of isolation experiments remains underexplored. During EVA, participants were exempt from regular cardiovascular training, underscoring the significant physical intensity of these tasks. Isolation conditions, including sensory deprivation, monotony, and limited resources, may have amplified the effects of stress associated with EVA tasks, potentially leading to alterations in the coagulative and fibrinolytic components of hemostasis.

The primary objective of this study was to investigate the effects of a combination of factors associated with simulated EVA on the blood coagulation potential.

The study involved six participants of both sexes, aged 27 to 38 years. Venous blood samples were collected during the baseline period (28 days prior to the start of the experiment), on days 61—62, 124—125, 186—187, 250—251, 313—314, and 354—355 of the experiment, and on day 5 of the recovery period (RP). For participants involved in simulated EVA, additional venous blood samples were collected on days 67, 130, 193, and 319 of the experiment. Blood samples were drawn into ZMT vacuum tubes (ZMT JSC, Russia) containing standard citrate anticoagulant. Citrated plasma was obtained by centrifugation at 1800g for 10 minutes, and concentrations of D-dimer, plasminogen, and fibrinogen, as well as the activity of protein C and antithrombin Ill, thrombin time, activated partial thromboplastin time (APTT), and prothrombin time were measured. Analyses were performed using standard clotting, chromogenic, and immunological methods on an automated CA- 1500 coagulometer (Sysmex, Japan) with commercial reagent kits from Siemens (Germany).

Statistical processing of the obtained data was carried out using variational statistics. The significance of the differences between the values of the background period (-28 days) and the values obtained during isolation and on the 5th day of RP, as well as between the values before and after the simulation of EVA, was determined using the nonparametric Wilcoxon test.

When comparing the values of the studied parameters before and after the simulation of EVA, a statistically significant increase in the D-dimer level was observed on days 130 and 319. When comparing the indices obtained after simulating EVA with the background values, a significant increase in the activity of antithrombin Ill and a decrease in the concentration of Ddimer were observed on day 130, as well as an increase in the thrombin time on day 193. At the trend level, there was an extension of the APTT on day 193 and the prothrombin time on day 319. The values of the other parameters did not change significantly, but there were individual differences in their dynamics among the subjects, which is likely due to gender differences and varying levels of physical fitness among the participants. Thus, it can be concluded that EVA is accompanied by changes in the fibrinolytic and anticoagulant components of hemostasis. The values of integral hemostasis indices, such as prothrombin time, thrombin time, and APTT, were prolonged relative to the background values, which likely reflects the impact of reduced motor activity during exposure.

RAS FMFR-2024-0039.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕМОКОАГУЛЯЦИИ И ФИБРИНОЛИЗА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SIRIUS-23

Кузичкин Д.С., Кочергин А.Ю., Маркин А.А., Журавлева О.А., Заболотская И.В., Вострикова Л.В., Серова А.В., Лабецкая О.И., Воронцов А.Л., Журавлева Т.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

dmitry171985@mail.ru

Введение. Осуществление профессиональной деятельности в космосе, подводной среде, полярных областях, на командных пунктах требует длительного нахождения в гермообъектах, оснащенных автономной системой жизнеобеспечения. При этом, условия гермообъема, такие как измененная газовая среда, температура, влажность, специфический режим двигательной активности и физических нагрузок, особенности диеты, хронический эмоционального стресса и психофизиологическое напряжение могут оказывать существенное влияние на систему гемокоагуляции и фибринолиза.

Результаты предыдущих исследований системы регуляции гемостаза в аналогичных экспериментах, проведенных на базе ГНЦ РФ – ИМБП РАН, показали, что длительное пребывание в гермообъекте сопровождается увеличением прокоагулянтного потенциала в начале изоляции и последующим его ослаблением в более поздние сроки.

Данное исследование проводилось с целью изучения реакций системы регуляции агрегатного состояния крови человека в динамике 12-месячной изоляции в гермообъеме с депривацией сна, интенсивной операторской деятельностью в условиях дефицита времени, полного отсутствия связи с центром управления, длительного пребывания при лимитированном потреблении продуктов питания, воды, средств личной гигиены. В ходе эксперимента в качестве профилактических мероприятий применялись комплексы физических тренировок, обеспечивающих достаточный уровень физической работоспособности в условиях изоляции. Участникам моделировалась напланетная деятельность с имитацией лунной гравитации.

Материалы и методы. В эксперименте с 366-суточной изоляцией в гермообъеме приняли участие шесть испытуемых обоего пола в возрасте от 27 до 38 лет. Участники эксперимента прошли медицинский и психологический отбор, подписали информированное согласие. Программа эксперимента была утверждена комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН, протокол № 643 от 7 июля 2023 г.

Пробы венозной крови отбирались из локтевой вены утром, натощак, за 28 дней до начала изоляции (фон), на 61–62-е, 124–125-е, 186–187-е, 250–251-е, 313–314-е, 354–355-е сутки эксперимента, а также на пятый день периода восстановления. Взятие крови у членов экипажа, занятых в напланетной деятельности, проводилось за день до покидания "космического корабля" и на следующий день после возвращения: на 125/130; 187/193; 314/319 сутки изоляции.

В цитратной плазме измеряли концентрации D-димера (ДД), плазминогена (ПГ) и фибриногена (ФБГ), протеина С (ПС) и антитромбина III (АТIII), а также величины тромбинового времени (ТВ), активированного частичного тромбопластинового времени (АЧТВ) и протромбинового времени (ПВ). Исследования проводили стандартными клоттинговыми, хромогенными и иммунологическими методами на автоматическом коагулометре CA-1500 фирмы Sysmex (Япония) с использованием коммерческих наборов реагентов производства компании Siemens (Германия). Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью критерия Уилкоксона.

Результаты и обсуждение. На 61/62-е сутки изоляции обнаружено снижение концентрации ПС и ФБГ, а также удлинение ПВ, что в совокупности свидетельствует о снижении как про- так и антикоагулянтного потенциала плазмы. На 124/125-е сутки также отмечалось уменьшение уровня ФБГ и удлинение ПВ. На 186/187-е и 250/251-е сутки статистически значимым наблюдалось только удлинение ПВ. На 313/314-е сутки и в последующие сроки обследования, включая период восстановления, прослеживалось удлинение АЧТВ, свидетельствующее о снижении потенциала внутреннего пути свертывания. Кроме того, на пятые сутки периода восстановления отмечалось снижение уровня ПГ, ФБГ и удлинение ПВ, указывающее на снижение прокоагулянтного потенциала и фибринолиза.

Данные эффекты, вероятно, являются следствием снижения уровня синтеза белка и усиления его распада. Тенденция к уменьшению прокоагулянтного потенцала предположительно связана с наличием профилактической программы физических нагрузок, выполняемой испытуемыми в течение всего эксперимента.

При исследовании крови, полученной через 10 дней (124–125 сутки изоляции) после 19-суточного пребывания испытуемых в условиях лимитированного потребления продуктов питания, воды, средств личной гигиены, а также на следующие сутки (186-187 сутки эксперимента) после одного из циклов депривации сна не обнаружено статистически значимых изменений динамики большинства исследованных параме-

тров. Лишь динамика ПВ показывала достоверное стабильное удлинение с 61/62 по 250/251 сутки в диапазоне 4–9 %, отражая тенденцию к ослаблению потенциала свертывания по внешнему пути.

При сравнении значений исследуемых параметров до и после имитации ВКД обнаружено статистически значимое повышение уровня ДД на 130-е и 319-е сутки, что отражает повышение интенсивности процессов фибринообразования и фибринолиза. Остальные параметры значимо не менялись. Данный эффект вызван, вероятно, развитием психофизиологического напряжения. Известно, что при остром стрессе коагуляция и фибринолиз одновременно усиливаются.

Выявление в периоде восстановление изменений, наблюдавшихся в ранние сроки изоляции, связано со стрессом реадаптации организма и, скорее всего, обусловлено возобновлением контакта испытуемых со всем многообразием факторов внешней среды.

Заключение. Установлено, что среда гермообъекта способствует снижению про- и антикоагулянтного потенциала относительно фонового уровня. Данный эффект может быть обусловлен активацией диссимиляционных процессов в белково-нуклеиновом звене обмена веществ, а также применением рационального комплекса физнагрузок, что в совокупности можно рассматривать как меру профилактики тромботических явлений в условиях гиподинамии. Депривация сна, а также пребывание испытуемых в условиях лимитированного потребления продуктов питания, воды, средств личной гигиены не оказывали заметного эффекта на изучаемые параметры. Имитация напланетной деятельности приводила к повышению уровня активности фибринообразования и фибринолиза, являясь, вероятно, наиболее стрессогенной из моделируемых воздействий.

Работа выполнена в рамках темы РАН FMFR-2024-0039.

STUDY OF HEMOCOAGULATION AND FIBRINOLYSIS IN SIRIUS-23 EXPERIMENT

Kuzichkin D.S., Kochergin A.Yu., Markin A.A., Juravleva O.A., Zabolotskaya I.V., Vostrikova L.V., Serova A.V., Labetskaya O.I., Vorontsov A.L., Juravleva T.V.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

dmitry171985@mail.ru

Introduction. Carrying out professional activities in space, underwater environment, polar regions, at command posts requires a long stay in hermetic objects equipped with an autonomous life support system. At the same time, the conditions of the hermetic volume, such as a modified gas environment, temperature, humidity, a specific regime of motor activity and physical activity, dietary features, chronic emotional and psychophysiological stress can exert a significant impact on the hemocoagulation and fibrinolysis system.

The results of previous studies of the hemostasis regulation system in similar experiments conducted at the RF SSC – IBMP of RAS showed that a long stay in a hermetic object is accompanied by an increase in the procoagulant potential at the beginning of isolation and its subsequent weakening at a later terms.

This work was conducted to study the reactions of the human blood aggregate state regulation system in the dynamics of 12-month isolation in a hermetic volume with sleep deprivation, intensive operator activity under time pressure, complete lack of communication with the control center, long-term stay with limited consumption of food, water, and personal hygiene products. During the experiment, physical training complexes were used as preventive measures to ensure a sufficient level of physical performance in isolation. Participants were simulated to perform extraterrestrial activity with imitation of lunar gravity.

Materials and methods. Six volunteers of both sexes aged 27 to 38 years took part in the experiment with 366-day isolation in a hermetic volume. The participants underwent medical and psychological selection and signed informed consent. The experimental program was approved by the Biomedical Ethics Committee of the RF SSC IMBP of RAS, protocol No. 643 dated July 7, 2023.

Venous blood samples were taken from the cubital vein in the morning, on an empty stomach, 28 days before the start of isolation (baseline), on days 61–62, 124–125, 186–187, 250–251, 313–314, 354–355 of the experiment, as well as on the fifth day of the recovery period. Blood samples were taken from the crew members engaged in on-planet activities the day before leaving the "spacecraft" and the day after returning: on the 125th/130th; 187th/193rd; 314th/319th day of isolation. The concentrations of D-dimer (DD), plasminogen (PG) and fibrinogen (FBG), protein C (PC) and antithrombin III (ATIII), as well as the values of thrombin time (TT), activated partial thromboplastin time (APTT) and prothrombin time (PT) were measured in citrate plasma. The studies were carried out using standard clotting, chromogenic and immunological methods on a CA-1500

automatic coagulometer from Sysmex (Japan) using commercial reagent kits from Siemens (Germany). Statistical processing of the obtained data was performed using the Wilcoxon test.

Results and discussion. On day 61/62 of isolation, a decrease in the concentration of PC and FBG, as well as an elongation in PT, were detected, which together indicate a decrease in both the pro- and anticoagulant potential of plasma. On day 124/125, a decrease in the FBG level and an elongation in PT were also noted. On days 186/187 and 250/251, only an elongation in PT was statistically significant. On day 313/314 and during the subsequent periods of the examination, including the recovery period, an elongation in APTT was observed, indicating a decrease in the potential of the intrinsic coagulation pathway. In addition, on the fifth day of the recovery period, a decrease in the level of PG, FBG and an elongation in PT were noted, indicating a decrease in the procoagulant potential and fibrinolysis.

These effects are probably due to a decrease in the level of protein synthesis and an increase in its breakdown. The tendency to decrease the procoagulant potential is presumably associated with the presence of physical training program performed by the volunteers throughout the experiment.

When examining the blood obtained 10 days later (124–125 days of isolation) after a 19-day stay of the subjects in conditions of limited consumption of food, water, personal hygiene products, as well as the next day (186–187 days of the experiment) after one of the sleep deprivation cycles, no statistically significant changes in the dynamics of most of the studied parameters were found. Only the dynamics of PT showed a reliable stable extension from 61/62 to 250/251 days in the range of 4-9%, reflecting a tendency to weaken the coagulation potential along the extrinsic pathway.

When comparing the values of the studied parameters before and after imitation of extraterrestrial activity, a statistically significant increase in the DD level was found on days 130 and 319, which reflects an increase in the intensity of fibrin formation and fibrinolysis processes. The remaining parameters did not change significantly. This effect is probably caused by the development of psychophysiological stress. It is known that coagulation and fibrinolysis are simultaneously enhanced by acute stress.

The detection of changes observed in the early stages of isolation during the recovery period is associated with the stress of the body's readaptation and is most likely due to the resumption of contact of the subjects with the entire variety of environmental factors.

Conclusion. It has been established that the environment of the hermetic object contributes to a decrease in the pro- and anticoagulant potential relative to the background level. This effect may be due to the activation of dissimilation processes in the protein-nucleic link of metabolism, as well as the use of a rational set of physical exercises, which together can be considered as a measure for the prevention of thrombotic phenomena in conditions of hypodynamia. Sleep deprivation, as well as the subjects' stay in conditions of limited consumption of food, water, and personal hygiene products did not have a noticeable effect on the parameters studied. Simulation of on-planet activity led to an increase in the level of fibrin formation and fibrinolysis activity, being probably the most stressful of the simulated effects.

The work was carried out within the framework of the RAS theme FMFR-2024-0039.

АППАРАТУРНОЕ ОСНАЩЕНИЕ ДЛЯ ЦЕЛЕВЫХ РАБОТ (КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ) В ОБЛАСТИ БИОТЕХНОЛОГИИ

Кузнецов Е.П.

НПП «БиоТехСис», ООО, Москва, Россия

info@biotechsys.ru

Научно-производственное предприятие "БиоТехСис", ООО организовано в 1991 году.

Основным научно-техническим направлением Научно-производственного предприятия "БиоТехСис" является обеспечение космических экспериментов научной аппаратурой в областях: биотехнология, биология, медицина, образование.

В 2021 г. предприятию исполнилось 30 лет со дня основания. Огромный вклад в создание и развитие Научно-производственного предприятия "БиоТехСис" внес директор, главный конструктор, кандидат технических наук Кузнецов Евгений Петрович, в 2021 году ему было присвоено звание «Почетный работник промышленности города Москвы».

В сотрудничестве с ИМБП НПП «БиоТехСис», ООО обеспечило проведение ряда космических экспериментов. Всего за период с 1991 года по 2023 год НПП "БиоТехСис" было выполнено более 130 договорных работ по направлению обеспечения НА космических экспериментов.

1. КЭ «Конъюгация» 2003–2018 гг.;
2. КЭ «Биоэмульсия» 2006–2017 гг.;
3. КЭ «Плазмида» 2012–2014 гг.;
4. КЭ «Биоэмульсия» 2006–2017 гг.;
5. КЭ «Кальций», 2011–2019 гг.;
6. КЭ «Бактериофаг», 2013–2016 гг;
7. КЭ «Продуцент», 2015–2024 гг.;
8. КЭ «Феникс», 2014–2030 гг.;
9. КЭ «БИФ», 2008–2010 гг.;
10. КЭ «ОЧБ», 2008–2011 гг.;
11. КЭ «Арил», 2012–2013 гг.;
12. КЭ «Женьшень-2» 2012–2013 гг.;
13. КЭ «Структура» 2010–2023 гг.;
14. КЭ «Асептик» 2010–2024 гг.;
15. КЭ «Каскад» 2009–2024 гг.;
16. КЭ «Константа» 2009–2013 гг.;
17. КЭ «МСК» 2011–2016 гг;
18. КЭ «Микровир» 2016–2024 гг;
19. КЭ «Пробиовит» 2016–2024 гг.;
20. КЭ «МСК-2» 2019–2024 гг;
21. КЭ «Фотобиореактор» 2018–2024 гг.;
22. КЭ «Биопленка» 2019–2024 гг.;
23. КЭ «Фаген» 2019–2024 гг.;
24. КЭ «Биомагнистат-Ф» 2019–2024 гг.

Номенклатура научной аппаратуры, созданной предприятием, очень разнообразна: от простых укладок до сложных приборов и комплексов, основанных на разных принципах функционирования.

На предприятии создано более 30 наименований научной аппаратуры: "Луч-2М", "Константа", "МСК", "Главбокс-С", "Рекомб-К", "Кальций", "Биоэмульсия", "Биоэкология", "Статокония", "Регенерация", "МТЭ", "Фрагментер", "Биокультиватор", ТБУ, «Микровир», «Пробиовит», «МСК-2», «Фотобиореактор», «Биопленка», «Фаген», «Биомагнистат-Ф» и т.д., и оборудование для научно-образовательных космических экспериментов: "Летающая тарелка", "Фаза", "Отолит", Перчаточный минибокс, "Сфера", «Фототропизм».

Научная аппаратура использовалась для проведения летных экспериментов на ОС МИР, РС МКС, КА БИОН и КА ФОТОН.

В настоящее время на предприятии ведутся работы по разработке перспективных изделий:

1. Проточная система жизнеобеспечения, для поддержания необходимого содержания кислорода на борту космического аппарата во время длительных экспедиций, и получения питательной биомассы для применения в качестве источника пищи.
2. Мобильный криогенный контейнер, для хранения и транспортировки биологических материалов.
3. Орбитальное криогенное хранилище, Стационарная лабораторная морозильная камера для хранения и быстрого замораживания биологических образцов
4. Центрифуга, для разделения жидких образцов на фракции путем воздействия центробежной силы в условиях микрогравитации.
5. Микст, для повышения эффективности проводимых и перспективных биотехнологических экспериментов путем механизации и стандартизации процессов смешивания и перемешивания жидкостей, растворения твердых веществ в жидкостях.
6. Газон, для получения адаптированного к условиям космического полета посевного материала, его последующего культивирования в биореакторе с целью повышения выхода биомассы с высокой активностью.

Научно-производственное предприятие "БиоТехСис" располагает собственным производственным, контрольно-измерительным, испытательным и лабораторным оборудованием.

Специалисты Научно-производственного предприятия "БиоТехСис" имеют большой опыт создания научной биотехнологической и медицинской аппаратуры.

Партнерские отношения связывают сейчас предприятие с такими организациями, как ГНЦ РФ–ИМБП РАН, ПАО "РКК "Энергия", ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России, ОАО "Биохиммаш", ФГБУ науки Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук, АО "РКЦ "Прогресс", НИИ эпидемиологии им. Г.Н. Габричевского.

Госконтракт.

HARDWARE EQUIPMENT FOR TARGETED WORKS (SPACE EXPERIMENTS, SE) IN BIOTECHNOLOGY

Kuznetsov E.P.

Research and Production Enterprise BioTechSys, LLC, Moscow, Russia

info@biotechsys.ru

Research and Production Enterprise BioTechSys, LLC was organized in 1991.

The main scientific and technical direction of Research and Production Enterprise BioTechSys is the provision of space experiments with scientific equipment in the fields of biotechnology, biology, medicine, education.

In 2021, the company celebrated its 30th anniversary. Evgeny Petrovich Kuznetsov, Director, Chief Designer, PhD in Technical Sciences, made a huge contribution to the creation and development of Research and Production Enterprise BioTechSys; in 2021, he was awarded the title of Honorary Worker of Moscow Industry.

In cooperation with the Institute of Biomedical Problems, Research and Production Enterprise BioTechSys, LLC provided a number of space experiments. In total, over the period from 1991 to 2023, Research and Production Enterprise BioTechSys performed more than 130 contractual works in the direction of space experiment support:

1. SE Conjugation 2003–2018;
2. SE Bioemulsion 2006–2017;
3. SE Plasmid 2012–2014;
4. SE Bioemulsion 2006–2017;
5. SE Calcium 2011–2019;
6. SE Bacteriophage 2013–2016;
7. SE Producer 2015–2024;
8. SE Phoenix 2014–2030;
9. SE BIF 2008–2010;
10. SE OChB 2008–2011;
11. SE Aril 2012–2013;
12. SE Ginseng-2 2012–2013;
13. SE Structure 2010–2023;
14. SE Aseptic 2010–2024;
15. SE Cascade 2009–2024;
16. SE Constant 2009–2013;
17. SE MSK 2011–2016;
18. SE Microvir 2016–2024;
19. SE Probiovit 2016–2024;
20. SE MSK-2 2019–2024;
21. SE Photobioreactor 2018–2024;
22. SE Biofilm 2019–2024;
23. SE Phagen 2019–2024;
24. SE Biomagnistat-F 2019–2024.

The nomenclature of scientific equipment created by the company is very diverse: from simple staking to complex devices and packages based on different principles of functioning.

The company has created more than 30 items of scientific equipment: Luch-2M, Constant, MSK, Glavbox-S, Recomb-K, Calcium, Bioemulsion, Bioecology, Statoconia, Regeneration, MTE, Fragmenter, Biocultivator, TBU, Microvir, Probiovit, MSK-2, Photobioreactor, Biofilm, Phagen, Biomagnistat-F, etc., and equipment for scientific and educational space experiments: Flying Saucer, Phase, Otolith, Glove mini-box, Sphere, Phototropism.

Scientific equipment was used to perform flight experiments on the MIR OS, Russian ISS, SV BION and SV PHOTON.

Currently, the company is working on the development of promising products:

1. A flow-through life support system to maintain the necessary oxygen content on board of a spacecraft during long-term expeditions, and to obtain nutritious biomass for use as a food source.
2. Mobile cryogenic container for storage and transportation of biological materials.
3. Orbital cryogenic storage, stationary laboratory freezer for storage and rapid freezing of biological samples.
4. A centrifuge for separation of liquid samples into fractions by centrifugal force under microgravity conditions.
5. Mix for increasing efficiency of ongoing and promising biotechnological experiments by mechanizing and standardizing the processes of mixing and mixing liquids, dissolving solids in liquids.

6. Lawn for obtaining seed material adapted to the conditions of space flight, its subsequent cultivation in a bioreactor to increase the yield of biomass with high activity.

Research and Production Enterprise BioTechSys has own production, control and measuring, testing and laboratory equipment.

Specialists of Research and Production Enterprise BioTechSys have extensive experience in creating scientific biotechnological and medical equipment.

Partnership relations now bind the enterprise with such organizations as the State Research Centre of the Russian Federation – Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, PJSC RSC Energia, Federal State Autonomous High Education Facility I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia, JSC Biokhimmash, Federal State Budgetary Science Facility Institute of Bioorganic Chemistry named after academicians M. M. Shemyakin and Y.A. Ovchinnikov of the Russian Academy of Sciences, JSC SRC Progress, Research and Scientific Institute of Epidemiology named after G.N. Gabrichevsky.

Contracts.

АНАЛИЗ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ЭКСПРЕССИВНОСТИ И ТЕМАТИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ ВИДЕО ДНЕВНИКОВ В ХОДЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ПОЛЕТОВ К ЛУНЕ (SIRIUS-21 И SIRIUS-23)

Кузнецова П.Г., Виноходова А.Г.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

kuznetsovapg@imbp.ru

Одним из потенциальных рисков длительных космических полетов считается критическое нарушение коммуникации в изолированном экипаже и рост конфликтной напряженности при общении с наземными службами (Human Factors in Long-Duration Spaceflight, 1972; Новиков М.А. и др, 1981; Юсупова А.К. и др., 2018). При этом остается открытым вопрос о том, какие именно события и коммуникативные стратегии членов экипажа и сотрудников ЦУП вызывают эмоциональное напряжение. Выявление ситуаций, влекущих за собой наиболее сильную эмоциональную реакцию со стороны членов изолированного экипажа, позволит улучшить систему психологической подготовки и поддержки коллективов, работающих в экстремальных и автономных условиях.

Цель данной работы: оценка эмоционального состояния обследуемых, а также выявление значимых событий, влияющих на функционирование изолированной малой группы.

В исследовании приняли участие 12 испытателей-добровольцев (5 мужчин и 7 женщин) – члены экипажей экспериментов по моделированию 8 и 12-месячного космического полета на орбиту Луны (проекты SIRIUS-21 и SIRIUS-23). Каждый из испытателей записывал видео дневники в приватной обстановке во время подготовительного этапа, еженедельно в ходе изоляционного эксперимента и после его окончания. Испытателям предлагалось в свободной форме описать свое настроение, самочувствие, значимые события, особенности коммуникации внутри экипажа и с наземными службами, отношение к выполняемым работам, физическим тренировкам и бытовой стороне пребывания в экспериментальном комплексе. Программа исследований была одобрена Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

Было собрано 505 видео-дневников (170 в SIRIUS-21 и 335 в SIRIUS-23) длительностью от 34 секунд до 50 минут (суммарная длительность всех записей – 125,5 часов). Средняя индивидуальная длительность записей в ходе SIRIUS-21 составляла от 3,5 до 15 минут. При этом в годовом эксперименте средняя длительность была выше - от 20,44 до 23,94 минут для 5 испытателей, и только одному испытателю было свойственно записывать более короткие дневники (ср. длительность – 7,17 минут).

Для 7 испытателей не наблюдалось значимой связи между длительностью записей и сутками эксперимента. Но двое испытателей в годовом и один в 8-месячном эксперименте увеличивали длительность записей: для испытателей в SIRIUS-23 корреляция между сутками эксперимента и длительностью видео дневника по критерию Спирмена составила $r = 0,753$ ($p < 0,001$) и $r = 0,696$ ($p < 0,001$), для участника SIRIUS-21 – $r = 0,378$ ($p < 0,05$). Также двое испытателей в SIRIUS-21 с течением времени сокращали длительность дневников ($r = -0,677$ $r = -0,463$, $p < 0,01$).

В докладе качественный анализ содержания дневников будет дополнен анализом длительности, частоты и интенсивности проявления эмоций в мимике испытателей, проведенным для каждой видеозаписи с помощью программы FaceReader.

Для качественной интерпретации данных использовалась экспертная оценка одним исследователем содержания речи испытателей: выделялись основные идеи, значимые события и их интерпретации, эмоциональные вербальные реакции. Применение данного подхода к анализу видео дневников, позволило выделить аспекты жизни экипажа, которые вызывали негативные эмоции или трудности, позитивные переживания, а также стратегии преодоления трудностей, которые применял экипаж.

Для большинства участников SIRIUS-21 негативные эмоции зачастую были связаны с общением как внутри экипажа, так и с дежурными бригадами ЦУП и исследователями. При общении с ЦУП и исследователями на первый план выходили сложности коммуникации – непонимание, задержка или отсутствие ответов на запросы экипажа, ошибки в инструкциях к методикам. При этом поддержка от ЦУП и обратная связь от исследователей, а также совместный досуг экипажа - отмечались как источники положительных эмоций. Работа над экспериментами, питание и проведение досуга вызывали различные эмоции, но были значимы для всего экипажа.

В экипаже SIRIUS-23, как и в SIRIUS-21, негативные эмоции экипажа были связаны, в основном, со сложностями межличностного взаимодействия – отсутствием взаимопонимания, взаимного доверия и периодическими конфликтами. Участники годового эксперимента редко упоминали общение с родными и близкими, но отмечали трудности этой дистанционной коммуникации.

При упоминании общения с ЦУП и исследователями экипаж SIRIUS-23 в первую очередь обращал внимание на скорость ответа (он был получен быстро или через несколько дней) точность, понятность или наличие ошибок в радиограммах и инструкциях. Кроме того, для экипажа был значим тон данной коммуникации – много положительных эмоций вызывалось общением с экспрессивными и дружелюбными бригадами.

В дневниках прямо или косвенно упоминалась потребность в навыках психической саморегуляции – испытатели рассказывали, что они предпринимают для лучшего самоконтроля во время конфликта или сложной ситуации, но зачастую отмечали недостаток навыков в этой сфере.

В ходе изоляции испытатели из обоих экипажей несколько раз отмечали положительное влияние выполнения записей видео дневников на эмоциональное состояние. Участники отмечали, что с помощью дневника реализуется потребность переосмыслить и подытожить события, приватно «выговориться», «отпустить» негативные переживания, пусть это и никак не влияло на ситуацию. Часть испытателей придерживались противоположной стратегии – сознательно старались сосредотачиваться только на позитивных аспектах жизни в эксперименте.

Результаты анализа видео дневников показали, что их запись позволяет выделить значимые события и аспекты жизни, влияющие на эмоциональное состояние отдельных обследуемых и экипажа в целом. При этом межличностные и межгрупповые взаимодействия (внутри и вне экипажа) являются крайне значимой стороной жизни изолированной малой группы, влияющей на эмоциональное состояние и профессиональную коммуникацию в экипаже в течение всего периода длительной изоляции.

Результаты данного эксперимента могут найти применение в практике экстремальной психологии и медицины, для обеспечения качественной психологической подготовки и поддержки участников экспедиций и коллективов, длительно работающих в автономных условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-298 от 18.04.2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Павловский центр «Интегративная физиология – медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям стрессоустойчивости».

ANALYSIS OF EMOTIONAL EXPRESSIVENESS AND THEMATIC CONTENT OF VIDEO DIARIES DURING LONG-TERM EXPERIMENTS TO SIMULATE FLIGHTS TO THE MOON (SIRIUS-21 AND SIRIUS-23)

Kuznetsova P.G., Vinokhodova A.G.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

kuznetsovapg@imbp.ru

One of the potential risks of long-term space flights is considered to be a critical breakdown in communication in an isolated crew and an increase in conflict tension when communicating with ground services (Human Factors in Long-Duration Spaceflight, 1972; Novikov M.A. et al., 1981; Yusupova A.K. et al., 2018). At the same time, the

question remains open about which events and communication strategies of crew members and MCC employees cause emotional tension. Identifying situations that entail the strongest emotional reaction from members of an isolated crew will improve the system of psychological training and support for teams working in extreme and autonomous conditions.

The purpose of this work: to assess the emotional state of the subjects, as well as to identify significant events that influence the functioning of an isolated small group.

The study involved 12 volunteer test subjects (5 men and 7 women) – crew members of experiments simulating 8- and 12-month space flights to the lunar orbit (SIRIUS-21 and SIRIUS-23 projects). Each of the test subjects recorded video diaries in a private setting during the preparatory stage, weekly during the isolation experiment and after its completion. The test subjects were asked to describe in free form their mood, well-being, significant events, communication features within the crew and with ground services, attitudes towards their work, physical training and the everyday aspects of their stay in the experimental complex. The research program was approved by the Biomedical Ethics Committee of the Russian Scientific Center – IMBP RAS.

A total of 505 video diaries were collected (170 in SIRIUS-21 and 335 in SIRIUS-23) with durations ranging from 34 seconds to 50 minutes (total duration of all recordings – 125.5 hours). The average individual duration of recordings during SIRIUS-21 ranged from 3.5 to 15 minutes. In the year-long experiment, the average duration was higher – from 20.44 to 23.94 minutes for 5 subjects, and only one subject tended to record shorter diaries (average duration – 7.17 minutes).

For 7 test subjects, there was no significant relationship between the duration of recordings and the day of the experiment. However, two test subjects in the 1-year experiment and one in the 8-month experiment increased the duration of recordings: for test subjects in SIRIUS-23, the correlation between the day of the experiment and the duration of the video diary according to the Spearman criterion was $r = 0.753$ ($p < 0.001$) and $r = 0.696$ ($p < 0.001$), for the SIRIUS-21 participant – $r = 0.378$ ($p < 0.05$). Also, two test subjects in SIRIUS-21 reduced the duration of the diaries over time ($r = -0.677$ $r = -0.463$, $p < 0.01$).

In the report, the qualitative analysis of the diary content will be supplemented by an analysis of the duration, frequency and intensity of the emotional expressiveness of the subjects, carried out for each video recording using the FaceReader program.

An expert assessment of the content of the subjects' speech by one researcher was used: the main ideas, significant events and their interpretations, emotional verbal reactions were identified. The use of this approach to the analysis of video diaries made it possible to identify aspects of the crew's life that caused negative emotions or difficulties, positive experiences, as well as the strategies for overcoming difficulties that the crew used.

For most SIRIUS-21 participants, negative emotions were often associated with communication both within the crew and with the Mission Control Center and researchers. When communicating with the Mission Control Center and researchers, communication difficulties came to the fore: misunderstandings, delays or lack of responses to the crew's requests, errors in the instructions for the methods. At the same time, support from the Mission Control Center and feedback from the researchers, as well as the crew's joint leisure time, were noted as sources of positive emotions. Working on experiments, eating, and spending leisure time caused different emotions, but were significant for the entire crew.В экипаже SIRIUS-23, как и в SIRIUS-21, негативные эмоции экипажа были связаны, в основном, со сложностями межличностного взаимодействия – отсутствием взаимопонимания, взаимного доверия и периодическими конфликтами. Участники годового эксперимента редко упоминали общение с родными и близкими, но отмечали трудности этой дистанционной коммуникации.

When talking about communication with the Mission Control Center and researchers, the SIRIUS-23 crew primarily paid attention to the speed of the response (whether it was received quickly or after a few days), accuracy, clarity, or the presence of errors in radiograms and instructions. In addition, the tone of this communication was important for the crew – many positive emotions were caused by communication with expressive and friendly members of the MCC.

In the diaries, the subjects directly or indirectly mentioned the need for mental self-regulation skills – the subjects described what they do to improve self-control during a conflict or difficult situation, but often noted a lack of skills in this area.

During the isolation, members of both crews noted several times the positive impact of recording video diaries on their emotional state. Participants noted that the diary helped them to rethink and summarize events, to "talk it out" privately, to "let go" of negative experiences, even though this did not affect the situation in any way. Some subjects followed the opposite strategy – they consciously tried to focus only on the positive aspects of life in the experiment.

The results of the video diary analysis showed that their recording allows us to identify significant events and aspects of life that affect the emotional state of individual subjects and the crew as a whole. At the same time, interpersonal and intergroup interactions (within and outside the crew) are an extremely significant aspect

of the life of an isolated small group, affecting the emotional state and professional communication in the crew throughout the entire period of long-term isolation.

The results of this experiment can be used in the practice of extreme psychology and medicine, to ensure high-quality psychological training and support for expedition participants and teams working for long periods in autonomous conditions.

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under agreement No. 075-15-2022-298 dated April 18, 2022 on the provision of a grant in the form of subsidies from the federal budget for the implementation of state support for the creation and development of a world-class scientific center «Pavlovsk Center «Integrative Physiology - Medicine, High-Tech Healthcare and Stress Resistance Technologies».

ДИНАМИКА ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И ЛИЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УСЛОВИЙ МОДЕЛИРУЕМОГО ПОЛЕТА НА ЛУНУ

Кузнецова П.Г., Савинкина А.О., Виноходова А.Г.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

kuznetsovapg@imbp.ru

Факторы длительного космического полета (монотония, скученность, сенсорная и социальная депривация, и др.) могут оказывать существенное неблагоприятное воздействие на эмоциональное состояние и психическую работоспособность членов экипажа. На успешность адаптации к неблагоприятным условиям существенно влияют индивидуальные особенности, обусловленные темпераментом, характером, уровнем психологической устойчивости личности. Кроме того, степень индивидуальной подверженности воздействию стресса неизбежно влияет на межличностное взаимодействие в экипаже и с ЦУП.

В данном исследовании проанализирована динамика эмоционального состояния, способность к произвольной саморегуляции, уровень эмоционального интеллекта и тип личности испытателей в ходе серии экспериментов с длительной изоляцией. Проанализированы данные 18 добровольцев (10 женщин и 8 мужчин) – участников экспериментов по моделированию космического полета на орбиту Луны длительностью 4, 8 и 12 месяцев (SIRIUS-19, SIRIUS-21 и SIRIUS-23).

Для изучения эмоционального состояния испытателей применялся опросник POMS. Опросник заполнялся до начала изоляции, во время изоляции (раз в неделю в ходе 4- и 8-месячной изоляции, раз в 2 недели в ходе годового эксперимента).

Для оценки устойчивости к стрессу до и после периода изоляции применялся компьютеризированный метод оценки способности к произвольной психофизиологической саморегуляции «Релаксометр» (Виноходова А.Г. и др., 2007).

Для исследования темперамента участников эксперимента, сходства их личностных особенностей и влияния этих качеств на успешность адаптации в изолированной группе был использован тест Кейрси (до изоляции – в трех экспериментах; после изоляции – в 8- и 12-месячном эксперименте).

Для оценки изменений в уровне эмоционального интеллекта использовался опросник ЭмИн (до и после изоляции – в трех экспериментах; дополнительно в середине срока изоляции в 8- и 12-месячном эксперименте).

Общий индекс негативных изменений настроения по результатам опросника POMS во всех трех группах крайне редко превышал средние (нормативные) значения. При этом для двоих испытателей в SIRIUS-19, одного в SIRIUS-21 и троих в SIRIUS-23 в среднем за эксперимент отмечалось больше негативных переживаний, чем для остальных членов экипажа.

Для 9 из 12 испытателей SIRIUS-19 и SIRIUS-23 период подготовки к эксперименту был наиболее стрессовым состоянием за весь период тестирования. Для экипажа SIRIUS-21 синхронное ухудшение настроения произошло на 55 сутки. Накануне этого тестирования экипаж впервые пережил полную депривацию сна и работал всю ночь с «грузовиком допоставки». В остальные периоды эксперимента испытатели отличались индивидуальной динамикой переживания отрицательных эмоций. При этом для каждого из испытателей SIRIUS-21 можно отметить дни, связанные с ростом негативных эмоций по различным шкалам POMS в первые 90 дней эксперимента. В ходе эксперимента SIRIUS-23 также наблюдаются индивидуальные

колебания негативных эмоций испытателей, при этом только для одного испытателя их уровень превышал средний балл по данной шкале (30,2 для здоровых взрослых) на 21 и 186 сутки эксперимента.

По результатам тестирования эмоционального интеллекта (ЭИ) большая часть обследуемых отличалась положительной самооценкой способностей к осознанию и регуляции собственных и чужих эмоций. Большинство испытателей наиболее высоко оценивали себя по шкалам понимания и управления своими эмоциями, а средние и низкие оценки чаще встречались по шкале эмоциональной экспрессивности.

Для 8 испытателей участие в эксперименте не оказало существенного влияния на уровень ЭИ. Четверо (все женщины) отметили значительное снижение ЭИ к середине или концу эксперимента (двое из них после окончания эксперимента снова показали рост самооценки ЭИ). Для этих испытателей наибольшее снижение было заметно по шкалам межличностного ЭИ и понимания эмоций. Пять человек (2 женщины, 3 мужчин) отметили рост ЭИ после окончания изоляции относительно фоновых значений.

По результатам оценки способности к произвольной саморегуляции семеро испытателей (3 мужчин и 4 женщины) показали рост данной способности после окончания эксперимента, а пятеро (2 женщины и 3 мужчин), напротив – ее снижение. Таким образом, для более чем половины участников проекта SIRIUS участие в таких сложных экспериментах оказало позитивное влияние на их психологическую устойчивость.

По результатам теста Кейрси большинство испытателей были похожи по некоторым значимым личностным качествам: 14 из 18 обследуемых были экстравертами, 15 человек были более склонны к ориентации на четкое планирование и результат деятельности, а не на процесс. Такая схожесть может свидетельствовать об осознанном или бессознательном желании испытателей соответствовать образу «идеального испытателя» – общительного и сосредоточенного на достижении результатов эксперимента. При этом у части испытателей после окончания эксперимента проявились изменения некоторых личностных характеристик: у одной участницы существенно снизились баллы по шкале экстраверсии и выросли по шкале интроверсии, двое мужчин стали опираться больше на собственную интуицию, чем на «здравый смысл», один испытатель стал больше опираться на логику, а пятеро (2 мужчин и 3 женщины) стали, напротив, больше опираться на чувства и этику, а не на логику при принятии решений.

Диагностика эмоционального состояния, способности к психофизиологической саморегуляции (произвольному расслаблению), личностных свойств и эмоционального интеллекта участников трех экспериментов по моделированию полета на орбиту Луны позволяют оценить степень воздействия факторов длительного космического полета на испытателей, выделить негативные изменения и отметить области личностного роста.

Исследование выполнено в рамках программы Фундаментальных научных исследований РАН FMFR-2024-0034.

DYNAMICS OF EMOTIONAL STATE AND PERSONAL CHARACTERISTICS UNDER THE INFLUENCE OF CONDITIONS OF SIMULATED FLIGHT TO THE MOON

Kuznetsova P.G., Savinkina A.O., Vinokhodova A.G.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

kuznetsovapg@imbp.ru

The factors of a long space flight (monotony, crowding, sensory and social deprivation, etc.) can have a significant adverse effect on the emotional state and mental performance of the crew members. The success of adaptation to adverse conditions is significantly affected by individual characteristics determined by temperament, character, and the level of psychological stability of the individual. In addition, the degree of individual susceptibility to stress inevitably affects interpersonal interactions within the crew and with the Mission Control Center.

This study analyzes the dynamics of emotional state, the ability for voluntary self-regulation, the level of emotional intelligence, and the personality type of the subjects during a series of experiments with long-term isolation. The data of 18 participants (10 women and 8 men) in experiments simulating space flight to the lunar orbit for 4, 8, and 12 months (SIRIUS-19, SIRIUS-21, and SIRIUS-23) were analyzed.

The POMS questionnaire was used to study the emotional state of the subjects. The questionnaire was filled out before the start of isolation, during isolation (once a week during 4- and 8-month isolation, once every 2 weeks during the year-long experiment).

To assess stress resistance before and after the isolation period, we used the computerized method for assessing the ability for voluntary psycho-physiological self-regulation «Relaxometer» (Vinokhodova A.G. et al., 2007).

To study the temperament of the subjects, the similarity of their personality traits and the influence of these qualities on the success of adaptation in the isolated group, the Keirsey test were used (before isolation in three experiments; after isolation in the 8- and 12-month experiments).

To assess changes in the level of emotional intelligence, the EmIn questionnaire was used (before and after isolation - in three experiments; additionally in the middle of the isolation period in the 8- and 12-month experiments).

The overall index of negative mood changes according to the POMS questionnaire in all three groups very rarely exceeded the average (normative) values. At the same time, for two subjects in SIRIUS-19, one in SIRIUS-21 and three in SIRIUS-23, on average, more negative experiences were noted during the experiment than for the other crew members.

For 9 out of 12 SIRIUS-19 and SIRIUS-23 test subjects, the preparation period for the experiment was the most stressful of the entire testing period. For the SIRIUS-21 crew, a synchronous deterioration in mood occurred on day 55. On the eve of this testing, the crew experienced complete sleep deprivation for the first time and worked all night with the «cargo ship». During the remaining periods of the experiment, the subjects differed in their individual dynamics of experiencing negative emotions. At the same time, for each of the SIRIUS-21 subjects, days associated with an increase in negative emotions on various POMS scales in the first 90 days of the experiment can be noted. During the SIRIUS-23 experiment, individual fluctuations in the subjects' negative emotions were also observed, with only one subject exceeding the average score on this scale (30.2 for healthy adults) on the 21st and 186th days of the experiment.

According to the results of the emotional intelligence (EI) assessment, the majority of the subjects had a positive self-assessment of their abilities to understand and regulate their own and other people's emotions. Most of the subjects rated themselves most highly on the scales of understanding and managing their own emotions, while average and low ratings were more common on the emotional expressiveness scale.

For 8 subjects, participation in the experiment had no significant effect on EI. Four subjects (all women) reported a significant decrease in EI by the middle or end of the experiment (two of them again showed an increase in self-assessment of EI after the end of the experiment). For these subjects, the greatest decrease was seen on the interpersonal EI and emotion understanding scales. Five subjects (2 women, 3 men) reported an increase in EI after the end of isolation relative to baseline values.

The ability for voluntary psycho-physiological self-regulation in seven subjects (3 men and 4 women) showed an increase after the end of the experiment, while five subjects (2 women and 3 men), on the contrary, showed a decrease. Thus, for more than half of the SIRIUS project participants, participation in such complex experiments had a positive effect on their psychological stability.

According to the results of the Keirsey test, most of the subjects were similar in some significant personal qualities: 14 out of 18 subjects were extroverts, 15 people were more inclined to focus on clear planning and the result of the activity, and not on the process itself. Such similarity may indicate a conscious or unconscious desire of the volunteers to match the image of the «ideal crew member» - sociable and focused on achieving the results of the experiment. At the same time, some of the subjects showed changes in some personal characteristics after the end of the experiment: one female participant's scores on the extroversion scale significantly decreased while they increased on the introversion scale, two men began to rely more on their own intuition than on «common sense», one test subject began to rely more on logic, and five (2 men and 3 women) began, on the contrary, to rely more on feelings and ethics, and not on logic when making decisions.

Diagnostics of the emotional state, the ability for psycho-physiological self-regulation (voluntary relaxation), personal qualities and emotional intelligence of the participants in three experiments simulating a flight to the Moon's orbit make it possible to assess the degree of impact of long-term space flight factors on the test subjects, identify negative changes and note areas of personal growth.

The study was conducted within the framework of the Fundamental Scientific Research Program of the Russian Academy of Sciences FMFR-2024-0034.

ВЛИЯНИЕ 14-СУТОЧНОЙ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ НА КОНТРОЛЬ СИЛЫ ХВАТА

Курбанова О.Э., Гайнутдинова Э.А., Глаголева С.О., Савеко А.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

o.kurbanova01@yandex.ru

Внекорабельная деятельность (ВКД) на сегодняшний момент является неотъемлемой частью длительных космических полетов. Основным биомеханическим звеном для выполнения монтажных работ, перемещения по корпусу орбитальной станции, а также удержания инструментов является человеческая рука (Matheson E., Brooker G., 2012). Во время пребывания в условиях пониженной гравитации наблюдаются нарушения в работе двигательной системы, в том числе нарушения двигательного контроля верхних конечностей (Козловская И.Б., 2017, Zelenskaya I.S. et al., 2023). Данные нарушения усугубляются тем, что человек вынужден выполнять операторские задачи в индивидуальной системе жизнеобеспечения – скафандре, который оказывает влияние на диапазон его движений. Дополнительно на работоспособность верхних конечностей влияет толстая многослойная перчатка скафандра, которая снижает следующие рабочие характеристики кисти руки: диапазон движения пальцев, ловкость, вращающий момент, тактильная чувствительность пальцев рук, сила хвата (Tanaka K. et al., 2010). Также следует отметить, что в условиях измененной гравитации зрение является единственным надежным источником информации для построения программ и контроля выполнения движений при решении операторских задач (Mechtcheriakov et al., 2002). Таким образом, исследование, направленное на изучение параметра «сила хвата», являющегося основным источником усталости верхних конечностей, при различных условиях позволит определить работу двигательной системы при выполнении статической задачи удержания усилия, а также может стать заделом для разработки систем профилактики усталости мышц верхних конечностей.

Целью экспериментального исследования явилось изучение влияния длительной «сухой» иммерсии на характеристики контроля удержания усилия при выполнении задачи со зрительной обратной связью, в условиях отсутствия зрительной обратной связи, в условиях зашумления тактильной чувствительности с помощью толстой многослойной перчатки, а также при комбинации указанных условий. Следует отметить, что испытуемого с целью регистрации параметров после недели иммерсионного воздействия извлекали из ванны на 8-е сутки (после полных 7 суток воздействия) для прохождения укороченной программы обследований сенсомоторной системы, включавшей в среднем 6.6 часов вне иммерсии, из которых не более 50 минут они находились в положении сидя и стоя. После завершения обследований испытуемых снова погружали в СИ, где они проводили еще 7 полных суток. Таким образом, окончательное завершение моделируемой микрогравитации с помощью «сухой» иммерсии происходило не на 15-е, а на 16-е сутки воздействия от момента первого погружения.

В исследовании приняли участие 4 добровольца мужского пола. У каждого из участников определяли значение максимальной произвольной силы (МПС) для правой и левой руки, затем программой автоматически рассчитывалось целевое усилие, составляющее 40% от МПС. Максимальную произвольную силу рассчитывали как среднее значение трех произвольных сжатий динамометра каждой рукой. Для анализа экспериментальных данных за контрольное значение было выбрано максимальное значение МПС, показанное в ходе 4 фоновых сессий. Удержание целевого усилия осуществлялось в «коридоре» значений ±5 % от 40 % от МПС (35 % от МПС – минимальное значение усилия в «коридоре», 45 % от МПС – максимальное значения усилия в «коридоре») в течение 15 секунд. В каждой сессии выполнялось по четыре теста для каждой руки: контроль силы хвата в нормальных условиях, при отсутствии зрительной обратной связи, в условиях зашумления тактильной чувствительности со зрительной обратной связью (при нахождении руки в толстой многослойной перчатке), а также в условиях зашумления тактильной чувствительности при отсутствии зрительной обратной связи. Контроль силы хвата обеспечивался с помощью электронного кистевого динамометра. Сила хвата измерялась в даН (деканьютонах, где 1 даН = 10 Н). Регистрация силы хвата и демонстрация зрительной обратной связи обеспечивалась с помощью программного обеспечения «НС-Психотест.NET» ООО «Нейрософт» в методике «Динамометрия».

Анализируемыми параметрами являлись МПС, среднее значение усилия за период длительностью 15 секунд при различных условиях. Данные были проверены на нормальность с помощью теста Шапиро-Уилка, статистический анализ осуществляли с помощью программы Graphpad Prism 8 методом двухфакторного дисперсионного анализа Two-way ANOVA.

Анализ данных выявил достоверное снижение МПС для правой руки на 12-е сутки СИ на 15,4 ± 8,4 % ($p = 0.0002$), а также на 15-е сутки – на 17,0 ± 6 % ($p < 0.0001$) по сравнению с исходными значениями.

Также получено достоверное снижение МПС для левой руки на 7-е, 10-е, 12-е, 15-е сутки иммерсионного воздействия на 14,4 ± 7,1 % (p = 0.0458), 13,9 ± 7,1 % (p = 0.0458), 17,1 ± 7,8 % (p = 0.0085), на 21,0 ± 7,3 % (p = 0.0003), соответственно. Следует также отметить, что для левой руки, которая являлась не ведущей у всех испытуемых, на 2-е и 4-е сутки после завершения воздействия сохранялось достоверно сниженное значение МПС на 15,0 ± 4,5 % (p = 0.0238) и на 19,8±9,1 % (p = 0.0012). Поскольку достоверного различия между МПС для правой и левой руки не было обнаружено, то с целью увеличения выборки значения МПС были объединены. При сравнении различных условий между ними не было обнаружено достоверных различий, однако, также наблюдалось наименьшее значение среднего значения усилия на 15-е сутки воздействия «сухой» иммерсии. Таким образом, можно сделать вывод, что глубокая опорная разгрузка оказывает влияние на контроль силы хвата. Снижение силы достигает максимального значения на 15-е сутки иммерсионного воздействия.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-15-00309, https://rscf.ru/project/24-15-00309/.

THE EFFECT OF 14-DAY DRY IMMERSION ON GRIP STRENGTH CONTROL

Kurbanova O.E., Gainutdinova E.A., Glagoleva S.O., Saveko A.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

o.kurbanova01@yandex.ru

Extravehicular activity (EVA) is currently an integral part of long-term space flights. The main biomechanical link for performing installation work, moving around the body of the orbital station, as well as holding tools is the human hand (Matheson E., Brooker G., 2012). During stay in conditions of low gravity, disturbances in the functioning of the motor system are observed, including violations of motor control of the upper extremities (Kozlovskaya I.B., 2017, Zelenskaya I.S. et al., 2023). These violations are aggravated by the fact that a person is forced to perform operator tasks in an individual life support system, a spacesuit, which affects the range of motion. Additionally, the performance of the upper extremities is affected by the thick multi-layered glove of the spacesuit, which reduces the following performance characteristics of the hand: range of motion of the fingers, dexterity, torque, tactile sensitivity of the fingers, grip strength (Tanaka K. et al., 2010). It should also be noted that in conditions of altered gravity, vision is the only reliable source of information for building programs and monitoring movement performance when solving operator tasks (Mechtcheriakov et al., 2002). Thus, a study aimed at studying the «grip strength» parameter, which is the main source of fatigue of the upper extremities, under various conditions will make it possible to determine the functioning of the motor system when performing the static task of maintaining effort, and may also become a base for the development of systems for the countermeasure the fatigue of the upper extremities' muscles.

The aim of the experimental study was to study the effect of prolonged Dry Immersion on the characteristics of force retention control when performing a task with visual feedback, in the absence of visual feedback, in conditions of noisy tactile sensitivity using a thick multilayer glove, as well as under a combination of these conditions. It should be noted that in order to register the parameters after a week of immersion exposure, the subject was removed from the bath on the 8th day (after a full 7 days of exposure) to undergo a shortened program of examinations of the sensorimotor system, which included an average of 6.6 hours outside of immersion, of which they were in a sitting and standing position for no more than 50 minutes. After completing the examinations, the subjects were again immersed in DI, where they spent another 7 full days. Thus, the final completion of the simulated microgravity using Dry Immersion occurred not on the 15th, but on the 16th day of exposure from the moment of the first dive.

The study involved 4 male volunteers. The value of the maximum voluntary force (MVF) for the right and left hands was determined for each of the participant, then the program automatically calculated the target force of 40% of the MVF. The maximum arbitrary force was calculated as the average of three arbitrary contractions of the dynamometer with each hand. To analyze the experimental data, the maximum MVF value shown during 4 background sessions was selected as the control value. The target force was retained in the «corridor» of ±5 % of 40 % of the MVF (35 % of the MVF – the minimum force in the «corridor», 45 % of the MVF – the maximum force in the «corridor») for 15 seconds. In each session, four tests were performed for each hand: control of grip strength under normal conditions, in the absence of visual feedback, in conditions of noisy tactile sensitivity with visual feedback (when the hand is in a thick multilayer glove), as well as in conditions of noisy tactile sensitivity

in the absence of visual feedback. Grip strength control was provided using an electronic wrist dynamometer. Grip strength was measured in daN (decanewtons, where 1 daN = 10 N). Registration of grip strength and demonstration of visual feedback was provided using the NS-Psychotest software.NET» company «Neurosoft» in the «Dynamometry» methodology.

The analyzed parameters were MVF, the average value of the force over a period of 15 seconds under various conditions. The data was checked for normality using the Shapiro-Wilk test, statistical analysis was performed using the Graphpad Prism 8 program using Two-way ANOVA.

Data analysis revealed a significant decrease in MVF for the right hand on day 12 by 15.4 ± 8.4 % ($p = 0.0002$), and on day 15 – by 17.0 ± 6 % ($p < 0.0001$) compared with baseline values. There was also a significant decrease in MVF for the left hand on the 7th, 10th, 12th, and 15th days of immersion exposure by 14.4 ± 7.1 % ($p = 0.0458$), 13.9 ± 7.1 % ($p = 0.0458$), 17.1 ± 7.8 % ($p = 0.0085$), and 21.0 ± 7.3 % ($p = 0.0003$), respectively. It should also be noted that for the left hand, which was not the leading one in all subjects, on the 2nd and 4th days after the end of exposure, the MVF value remained significantly reduced by 15.0 ± 4.5 % ($p = 0.0238$) and by 19.8 ± 9.1 % ($p = 0.0012$). Since there was no significant difference between the MVF for the right and left hands, the MVF values were combined in order to increase the sample. When comparing different conditions, no significant differences were found between them, however, the lowest value of the average force value was also observed on the 15th day of exposure to Dry Immersion. Thus, it can be concluded that deep support unloading has an effect on grip strength control. The decrease in strength reaches its maximum value on the 15th day of immersion exposure.

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation № 24-15-00309, https://rscf.ru/project/24-15-00309/.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМОЙ СВЕТОДИОДНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ RGB-W СВЕТИЛЬНИКА МЕСТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРОГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОСПРИЯТИЯ ИСПЫТАТЕЛЕМ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ДИНАМИКЕ ЭКСПЕРИМЕНТА С ГОДОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ПО ПРОЕКТУ SIRIUS 23/24

Кутина И.В.[1], Кудряшова О.О.[1], Шотина Н.Д.[2], Атрощенко В.И.[3]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

[2]ООО «Билайт-Трейд», Москва, Россия

[3]АО «Научно-производственный центр «НИИ Микроприборов», Зеленоград, Россия

irkutina@imbp.ru

Оптимизация и регулирование параметров искусственной световой среды призвана обеспечить не только необходимые условия для выполнения разнообразных зрительных задач, но и создать предпосылки для нормальной жизнедеятельности операторов, формирования комфортного психологического климата, сохранения их здоровья при длительных космических полетах и тесно связана с вопросами создания комфортных условий среды обитания, особенно при реализации программ исследования Луны и полетов в «дальний космос».

Согласно литературным данным, снижение цветовой контрастной чувствительности органа зрения может наблюдаться при какой-либо перегрузке психологического или физиологического характера.

Объем получаемой визуальной информации зависит от чувствительности органа зрения, что определяет работоспособность оператора и его психофизиологическое состояние. Изменение состояния оператора (экстремальные условия, болезнь и т.п.) приводит к сокращению обработки информации по визуальному сенсорному каналу, т.к. снижается контрастная чувствительность органа зрения. Снижение цветовой контрастной чувствительности органа зрения может регистрироваться изменением пространственно-частотной характеристики органа зрения (ПЧХ ОЗ), которая определяет его контрастную чувствительность, формирует пороговый уровень восприятия визуальной информации. Влияние яркостного и цветового распределения в пространстве на психофизиологические функции человека может определяться с помощью изучения его цветовой ПЧХ.

Цель исследования. Оценка порогового уровня восприятия визуальной информации испытателей, характеризуемой пространственно-частотной характеристикой органа зрения, в условиях воздействия искусствен-

ной световой среды, создаваемой светодиодными источниками света с использованием экспериментальной установки на основе управляемой светодиодной системы освещения RGB-W светильника местного освещения.

Задачи исследования:

– разработка и создание экспериментальной установки на основе управляемой светодиодной системы освещения, програмного обеспечения (ПО) и методики по определению цветовых ПЧХ ОЗ;

– исследования ПЧХ ОЗ испытателей в динамике эксперимента.

Методы исследования. Были выполнены исследования ПЧХ ОЗ у испытателей с учетом изменения цветовых характеристик наблюдаемых объектов на экране монитора с использованием 4-канальной «RGB and W» управляемой системы освещения. Результаты исследований автоматически записывались на компьютер.

При тестировании испытателя определялась величина контрастной чувствительности (КЧ) органа зрения испытателя при наблюдении тестового изображения трех цветов, а так же определение его зрительной работоспособности.

Исследование проводились 1 раз в месяц с использованием управляемой светодиодной системой освещения при двух уровнях освещенности 150 лк и 300 лк.

Экспериментальная установка.

Для проведения эксперимента специалистами ГНЦ РФ — ИМБП РАН совместно со специалистами ООО «Билайт-трейд» и АО «НПЦ «НИИМП» была разработана и создана экспериментальная установка, состоящая из следующих элементов: светодиодный светильник RGB and W, создающий регулируемое освещение белого света и дополнительную RGB подсветку (красный, зеленый, синий), ноутбук с установленным ПО, люксметр.

Данная установка позволила создавать белое освещение требуемого уровня 150 лк и 300 лк, а так же дополнять белый свет цветным, включая, по-отдельности, красный, синий или зеленый светодиодные светильники.

Уровень освещенности контролировался по показаниям люксметра. Цветное освещение управлялось программно и автоматически подстраивалось под цвет теста, который предъявлялся оператору.

Методика проведения исследования. Исследование проводились при выключенном основном освещении в модуле ЭУ-100.

Измерение ПЧХ органа зрения испытателя проводилось методом пределов при предъявление в темноте тестового изображения со средней яркостью 10 кд/м2 трех цветов – красного, синего и зеленого, задающихся в стандартной системе компьютерных цветов RGB. Тестовое изображение представляло собой вертикальную решетку с синусоидальным распределением яркости на равноярком фоне того же цвета. Измерения проводились на пространственной частоте 20,8 цикл/град.

Для измерения цветовой контрастной чувствительности у испытателя измеряли пороги обнаружения тестового объекта на появление и исчезновение.

Обсуждение результатов. Анализ данных по цветовой контрастной чувствительности ОЗ показал:

1. КЧ в динамике изоляции изменялась по 3 типам: параболическая, логарифмическая, отсутствие динамики.

2. У большинства испытателей контрастная чувствительность органа зрения в начале эксперимента была минимальной.

3. На 130–310 сутки эксперимента у всех испытателей контрастная чувствительность органа зрения достигла максимального уровня.

Анализ полученных данных по субъективной оценке состояния зрительного анализатора показал:

1. У большинства испытателей количество жалоб на состояние зрительного анализатора в период изоляции в условиях пребывания только при искусственном освещении имело тенденцию к снижению, начиная с 5 по 9 месяцы, и затем увеличивалось в последние 2–3 месяца изоляции. Отсюда можем сделать вывод, что установленное в экспериментальных модулях биоритмические светодиодное освещение положительно влияло на зрительную систему пребывающего в изоляции испытателя, однако годовая длительность которой могла способствовать накоплению утомления органа зрения к концу изоляции.

2. У большинства испытателей количество жалоб со стороны органа зрения во время выполнении зрительной работы при уровне освещенности 300лк было меньше, чем при уровне освещенности 150 лк.

Заключение. Согласно литературным данным, снижение цветовой контрастной чувствительности органа зрения может наблюдаться при какой-либо перегрузке психологического или физиологического характера, что может способствовать снижению уровня работоспособности оператора и сокращению объема обработки информации по визуальному сенсорному каналу. Снижение контрастной чувствительности органа зрения может определяться изменением ПЧХ ОЗ, которая и формирует пороговый уровень восприятия визуальной информации.

Необходимо продолжение исследований по доработке экмпериментальной установки на основе управ-

ляемой светодиодной системы освещения RGB-W светильника местного освещения, методики и программного обеспечения по изучению возможности использования цветовой контрастной чувствительности органа зрения для оценки состояния операторов в условиях изоляции, на перспективных ПКА и орбитальных станциях, в том числе и при реализации программ исследования Луны и полетов в «дальний космос».

FRFM-2024-0035.

THE USE OF AN EXPERIMENTAL EQUIPMENT BASED ON A CONTROLLED RGB-W LED LIGHTING SYSTEM FOR A LOCAL LIGHTING FIXTURE TO STUDY THE THRESHOLD CHARACTERISTICS OF THE TESTER

Kutina I.V.[1], Kudryashova O.O.[1], Shotina N.D.[2], Atroschenko V.I.[3]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Limited Liability Company «Bilight-Trade», Moscow, Russia
[3]Joint Stock Company «Research and Production Center «Research Institute of Microdevices», Zelenograd, Russia

irkutina@imbp.ru

Optimization and regulation of the parameters of the artificial light environment is designed to provide not only the necessary conditions for performing a variety of visual tasks, but also to create prerequisites for the normal functioning of operators, the formation of a comfortable psychological climate, and the preservation of their health during long-term space flights, and is closely related to the creation of comfortable living conditions, especially during the implementation of lunar exploration and space flight programs. «deep space».

According to literature data, a decrease in the color contrast sensitivity of the visual organ can be observed with any kind of overload of a psychological or physiological nature.

The amount of visual information received depends on the sensitivity of the visual organ, which determines the operator's performance and his psychophysiological state. A change in the operator's condition (extreme conditions, illness, etc.) leads to a reduction in the processing of information through the visual sensory channel, as the contrast sensitivity of the visual organ decreases. A decrease in the color contrast sensitivity of the visual organ can be registered by a change in the spatial-frequency characteristic of the visual organ (SFC VO), which determines its contrast sensitivity and forms a threshold level of perception of visual information. The influence of brightness and color distribution in space on the psychophysiological functions of a person can be determined by studying his color SFC.

The purpose of the study. Assessment of the threshold level of perception of visual information of testers, characterized by the spatial-frequency characteristic of the visual organ, under the influence of an artificial light environment created by LED light sources using an experimental equipment based on a controlled RGB-W LED lighting system of a local lighting fixture.

Research objectives:

– development and creation of an experimental equipment based on a controlled LED lighting system, software and methods for determining the color SFC VO;

– research of the physical characteristics SFC VO of the testers in the dynamics of the experiment.

Research methods.

The SFC VO were studied by the testers, taking into account the change in the color characteristics of the observed objects on the monitor screen using a 4-channel «RGB and W» controlled lighting system. The research results were automatically recorded on the computer.

When testing the examiner, the value of the contrast sensitivity (CS) of the examiner's visual organ was determined when observing a test image of three colors, as well as determining its visual performance.

The study was carried once a month using a controlled LED lighting system at two illumination levels of 150 lux and 300 lux.

Experimental equipment. For the experiment, specialists from the SSC RF — IMBP RAS, together with specialists from Bilight-Trade LLC and NPC NIIMP JSC, developed and created an experimental equipment consisting of the following elements: RGB and W LED luminaire, which creates adjustable white light illumination and additional RGB illumination (red, green, blue), a laptop with installed software, a luxmeter. This equipment made it possible to create white lighting of the required level of 150 lux and 300 lux, as well as to complement white light with color, including, separately, red, blue or green LED lamps.

The light level was monitored according to the readings of the luxmeter. The color lighting was controlled programmatically and automatically adjusted to the color of the test, which was presented to the operator.

Research methodology. The study was carried with the main lighting turned off in the EU-100 module.

The measurement of the frequency response of the tester's visual organ (SFC VO) was carried out using the limits method when presenting a test image in the dark with an average brightness of 10 cd/m2 in three colors – red, blue and green, specified in the standard RGB computer color system. The test image was a vertical grid with a sinusoidal brightness distribution on an equally bright background of the same color. The measurements were carried out at a spatial frequency of 20.8 cycles/degree.

To measure the color contrast sensitivity of the test subject, the detection thresholds of the test object for appearance and disappearance were measured.

Discussion of the results. An analysis of the data on the color contrast sensitivity of the eye showed that:

1. The frequency response in the isolation dynamics varied according to 3 types: parabolic, logarithmic, lack of dynamics.

2. In most of the test subjects, the contrast sensitivity of the visual organ was minimal at the beginning of the experiment.

3 On the 130-310 day of the experiment, the contrast sensitivity of the visual organ reached its maximum level in all subjects.

The analysis of the obtained data on the subjective assessment of the state of the visual analyzer showed that:

1. For the majority of testers, the number of complaints about the condition of the visual analyzer during isolation in conditions of exposure only to artificial light tended to decrease, starting from 5 to 9 months, and then increased in the last 2-3 months of isolation. From this we can conclude that the biorhythmic LED lighting installed in the experimental modules had a positive effect on the visual system of the isolated tester, however, the annual duration of which could contribute to the accumulation of fatigue of the visual organ by the end of isolation.

2 The majority of the test subjects had fewer complaints from the visual organ during visual work at an illumination level of 300 lux than at an illumination level of 150 lux.

Conclusion. According to literature data, a decrease in the color contrast sensitivity of the visual organ can be observed with any kind of overload of a psychological or physiological nature, which can contribute to a decrease in the operator's level of efficiency and a reduction in the amount of information processing through the visual sensory channel. A decrease in the contrast sensitivity of the visual organ can be determined by a change in the frequency response SFC VO, which forms the threshold level of perception of visual information.

It is necessary to continue research on the refinement of an experimental equipment based on a controlled RGB-W LED lighting system for local lighting, methods and software to study the possibility of using color contrast sensitivity of the visual organ to assess the condition of operators in isolation, at promising spacecraft and orbital stations, including during the implementation of lunar exploration and space flight programs. «deep space».

FRFM-2024-0035.

ВЛИЯНИЕ 240-СУТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ГЕРМООБЪЕКТЕ С ИСКУССТВЕННОЙ СРЕДОЙ ОБИТАНИЯ НА ПРОЦЕССЫ СОЗРЕВАНИЯ ДЕНДРИТНЫХ КЛЕТОК И АКТИВАЦИИ Т-ЛИМФОЦИТОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SIRIUS-21

Кутько О.В., Рыкова М.П., Шмаров В.А., Пономарёв С.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

sovamsha@yandex.ru

Иммунный ответ представляет собой сложный многокомпонентный процесс, эффективность которого зависит от слаженной работы антигенпрезентирующих и Т-клеток. Особую роль играют дендритные клетки (ДК), регулирующие Т-клеточный иммунный ответ посредством презентации антигенов и костимулирующих сигналов, передаваемых через взаимодействие молекул CD80/CD86 с рецепторами CD28 (активация) и CTLA-4 (CD152) (ингибирование) на Т-лимфоцитах. Несмотря на многолетнее изучение этих механизмов, воздействие факторов изоляции (гиподинамия, ограниченное жизненное пространство, сокращение разнообразия микробиоты, сенсорная депривация, психоэмоциональное напряжение и минимизация контакта с новыми антигенами) на формирование Т-клеточного иммунного ответа остается недостаточно исследованным. В связи с этим, целью работы являлось комплексное исследование фенотипических свойств ДК,

генерированных из CD14+ моноцитов, а также способности Т-клеток к TCR-активации у членов экипажа изоляционного эксперимента SIRIUS-21.

Эксперимент SIRIUS-21 с 240-суточной изоляцией в гер¬метично замкнутом пространстве с искусственной средой обитания был проведен на базе Наземного экспериментального комплекса ГНЦ РФ – ИМБП РАН (НЭК) с участием 5 испытателей-доброволь¬цев (3 мужчин и 2 женщины) в возрасте от 28 до 44 лет, получивших допуск врачебно-экспертной комиссии и подписавших Информированное со-гласие на участие в эксперименте в соответствии с Хельсинкской декларацией. Программа исследования была утверждена на заседании Ученого совета и одобрена Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол №538 от 17 марта 2020 г.).

Взятие проб венозной крови для им¬мунологических исследований проводили натощак в утренние часы в фоновом периоде (за 30 суток до начала эксперимента), на различных этапах экспериментального воздействия (на 30-е, 114-е и 240-е сутки) и в периоде восстановления (на 7-е сутки).

Проведенные исследования показали, что в культурах дендритных клеток, дифференцированных из моноцитов периферической крови (мо-ДК), процент CD14- клеток в течение всего периода изоляции оставался на уровне фоновых значений, что говорит о сохранении способности моноцитов дифференцироваться в мо-ДК – специализированные антигенпрезентирующие клетки, которые в зрелом состоянии характеризуются высокой экспрессией молекул HLA-DR, костимулирующих молекул (CD80/CD86) и маркера зрелости CD83, что обеспечивает их способность эффективно презентировать антигены и активировать Т-лимфоциты. Однако уже на 30-й день экспериментального воздействия было зафиксировано значительное снижение содержания CD14-HLA-DR+ клеток, что указывает на нарушение ключевой функции мо-ДК – процессировать и презентировать антигены в комплексе с молекулами MHC II класса, необходимой для инициации иммунного ответа. Также наблюдалось прогрессирующее уменьшение количества клеток с фенотипами CD14-CD80+CD86+, ответственных за критически важную для активации Т-лимфоцитов костимуляцию через взаимодействие с рецептором CD28, и CD14-CD83+CD80+CD86+HLA-DR+, обладающих максимальной антигенпрезентирующей и иммуностимулирующей активностью. Минимальные значения этих показателей были достигнуты к 114-му дню эксперимента, причем к его завершению отмечалось лишь частичное восстановление изучаемых параметров. Следует отметить, что после прекращения изоляционного воздействия маркеры функциональной активности мо-ДК не только не вернулись к фоновым значениям, а оказалась ниже их, что может свидетельствовать о развитии стойких изменений в работе иммунной системы.

Со стороны Т-лимфоцитов было выявлено угнетение активационного потенциала в ответ на стимуляцию анти-CD3/CD28 антителами, иммобилизированными на наноносителях, которое проявлялось снижением количества клеток несущих маркеры активации (CD69+, CD25+). Наряду с этим было обнаружено значительное снижение числа Т-клеток экспрессирующих ко-стимуляторные молекулы CD28, что существенно ограничивает их способность к полноценному ответу на антигенную стимуляцию. Кроме того, была отмечена активация супрессорных механизмов развития иммунного ответа, представленных ростом регуляторных Т-клеток (CD4+FoxP3+ и CD8+FoxP3+) и Т-клеток с ингибиторными рецепторами (CD4+CD152+ и CD8+CD152+).

В ходе исследования были выявлены существенные изменения в структуре Т-клеток памяти. К концу эксперимента наблюдалось значительное снижение количества наивных CD4+ Т-лимфоцитов (NaiveTh), причем степень снижения варьировалась среди участников, что свидетельствует об индивидуальных особенностях иммунного ответа на изоляционное воздействие. В то же время отмечалось увеличение численности популяций клеток центральной памяти (CMTh – Т-хелперы центральной памяти и CMTc – цитотоксические Т-клетки центральной памяти) при одновременном уменьшении количества клеток эффекторной памяти (EMTh – Т-хелперы эффекторной памяти и EMTc – цитотоксические Т-клетки эффекторной памяти), причем наиболее выраженные количественные изменения отмечались в CD8+ субпопуляции. В период восстановления была отмечена тенденция к нормализации показателей, однако уровни эффекторных и терминально дифференцированных клеток (EMTh, EMTc, TEMRATh, TEMRATc) так и не вернулись к фоновым значениям.

Таким образом, проведенные исследования выявили негативное влияние длительной изоляции на имунный ответ: со стороны дендритных клеток наблюдалось стойкое нарушение их функциональных способностей к антигенной презентации и ко-стимуляции Т-лимфоцитов, со стороны Т-клеточного ответа, были выявлены снижение активационного потенциала Т-лимфоцитов, нарушение баланса между различными субпопуляциями Т-клеток памяти, а также активация супрессорных механизмов иммунного ответа. Временная динамика изменений представлена тремя фазами: компенсаторной (0–30 дней), когда наблюдается изменения фенотипа ДК и умеренный рост числа регуляторных Т-клеток; фазой прогрессирующей дисфункции (30–114 дней), характеризующейся снижением антиген-презентирующей функции ДК

и угнетением активации Т-клеток; и фазой декомпенсации (до 240 дней), когда численность имеющих зрелый фенотип ДК сильно снижена, а количество регуляторных Т-клеток достигает своих максимальных значений в эксперименте.

Работа выполнена в рамках фундаментальных исследований по базовой тематике РАН № FMFR-2024-0039.

THE EFFECT OF 240-DAY ISOLATION IN A HERMETIC FACILITY WITH AN ARTIFICIAL HABITAT ON THE MATURATION OF DENDRITIC CELLS AND ACTIVATION OF T-LYMPHOCYTES IN THE SIRIUS-21 EXPERIMENT

Kutko O.V., Rykova M.P., Shmarov V.A., Ponomarev S.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

sovamsha@yandex.ru

The immune response is a complex multicomponent process, the effectiveness of which depends on the coordinated work of antigen-presenting and T cells. A special role is played by dendritic cells (DCs), which regulate the T-cell immune response through the presentation of antigens and costimulatory signals transmitted through the interaction of CD80/CD86 molecules with CD28 receptors (activation) and CTLA-4 (CD152) (inhibition) on T lymphocytes. Despite many years of studying these mechanisms, the impact of isolation factors (physical inactivity, limited living space, reduced diversity of microbiota, sensory deprivation, psychoemotional stress and minimization of contact with new antigens) on the formation of the T-cell immune response remains insufficiently studied. In this regard, the aim of the work was a comprehensive study of the phenotypic properties of DC generated from CD14+ monocytes, as well as the ability of T cells to TCR activation in the crew members of the isolation experiment SIRIUS-21. The SIRIUS-21 experiment with 240-day isolation in a hermetically sealed space with an artificial habitat was carried out at the Ground Experimental Complex of the Russian Federation - Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (GEC) with the participation of 5 volunteer test subjects (3 men and 2 women) aged 28 to 44 years, who received approval from the medical expert commission and signed an Informed Consent to participate in the experiment in accordance with the Declaration of Helsinki. The research program was approved at a meeting of the Academic Council and approved by the Biomedical Ethics Committee of the Russian Research Center – IMBP RAS (protocol No. 538 dated March 17, 2020). Venous blood samples for immunological studies were taken on an empty stomach in the morning hours during the background period (30 days before the start of the experiment), at various stages of the experimental exposure (on the 30th, 114th and 240th day) and during the recovery period (on the 7th day). The conducted studies have shown that in the cultures of dendritic cells differentiated from peripheral blood monocytes (mo-DC), the percentage of CD14- cells remained at the background level throughout the isolation period, which indicates the preservation of the ability of monocytes to differentiate into mo-DC – specialized antigen-presenting cells, which in a mature state are characterized by a high expression of HLA-DR molecules, costimulatory molecules (CD80 / CD86) and the maturity marker CD83, which ensures their ability to effectively present antigens and activate T-lymphocytes. However, already on the 30th day of experimental exposure, a significant decrease in the content of CD14-HLA-DR + cells was recorded, which indicates a violation of the key function of mo-DC - to process and present antigens in complex with MHC class II molecules, necessary for the initiation of an immune response. A progressive decrease in the number of cells with the phenotypes CD14-CD80+CD86+, responsible for the critically important for the activation of T-lymphocytes costimulation through interaction with the CD28 receptor, and CD14-CD83+CD80+CD86+HLA-DR+, possessing maximum antigen-presenting and immunostimulating activity, was also observed. The minimum values of these indicators were achieved by the 114th day of the experiment, and by its completion only partial recovery of the studied parameters was noted. It should be noted that after the cessation of the isolation effect, the markers of the functional activity of mo-DCs not only did not return to background values, but turned out to be lower than them, which may indicate the development of persistent changes in the functioning of the immune system. On the part of T-lymphocytes, inhibition of activation potential in response to stimulation with anti-CD3/CD28 antibodies immobilized on nanocarriers was revealed, which was manifested by a decrease in the number of cells carrying activation markers (CD69+, CD25+). Along with this, a significant decrease in the number of T-cells expressing costimulatory molecules CD28 was found, which significantly limits their ability to fully respond to antigen stimulation. In addition, activation of suppressor mechanisms of immune response development was noted, represented by an increase in regulatory T-cells (CD4+FoxP3+ and CD8+FoxP3+) and T-cells with inhibitory receptors (CD4+CD152+ and CD8+CD152+).

The study revealed significant changes in the structure of memory T cells. By the end of the experiment, a significant decrease in the number of naive CD4+ T lymphocytes (NaiveTh) was observed, with the degree of decrease varying among participants, indicating individual characteristics of the immune response to the isolation effect. At the same time, an increase in the number of central memory cell populations (CMTh – central memory T helpers and CMTc – central memory cytotoxic T cells) was noted, while the number of effector memory cells (EMTh - effector memory T helpers and EMTc - effector memory cytotoxic T cells) decreased, with the most pronounced quantitative changes observed in the CD8+ subpopulation. During the recovery period, a tendency towards normalization of the indicators was noted, however, the levels of effector and terminally differentiated cells (EMTh, EMTc, TEMRATh, TEMRATc) never returned to background values. Thus, the studies have revealed a negative effect of long-term isolation on the immune response: in terms of dendritic cells, a persistent impairment of their functional abilities for antigen presentation and costimulation of T-lymphocytes was observed; in terms of the T-cell response, a decrease in the activation potential of T-lymphocytes, an imbalance between different subpopulations of memory T-cells, and activation of suppressor mechanisms of the immune response were detected. The temporal dynamics of changes is represented by three phases: compensatory (0–30 days), when changes in the DC phenotype and a moderate increase in the number of regulatory T cells are observed; a phase of progressive dysfunction (30–114 days), characterized by a decrease in the antigen-presenting function of DC and inhibition of T-cell activation; and a decompensation phase (up to 240 days), when the number of DCs with a mature phenotype is greatly reduced, and the number of regulatory T cells reaches its maximum values in the experiment.

The work was carried out within the framework of fundamental research on the basic topics of the Russian Academy of Sciences No. FMFR-2024-0039.

КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРИМЫХ ФОРМ РЕЦЕПТОРА ПРОГРАММИРУЕМОЙ ГИБЕЛИ КЛЕТОК (PD-1) И ЕГО ЛИГАНДА (PD-L1), А ТАКЖЕ ФАКТОРА РОСТА ЭНДОТЕЛИЯ СОСУДОВ (VEGF) И РЕЦЕПТОРА (VEGF-R2) В СЫВОРОТКЕ КРОВИ ИСПЫТАТЕЛЕЙ-ДОБРОВОЛЬЦЕВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ С 366-СУТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ В ГЕРМООБЪЕМЕ (SIRIUS 23)

Кушлинский Н.Е.[1], Алферов А.А.[1], Кузьмин Ю.Б.[1], Горбатенко В.О.[2], Чистяков Д.В.[3], Пономарёв С.А.[4], Власова Д.Д.[4], Баранов В.М.[4], Стилиди И.С.[1]

[1]Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России, Москва, Россия

[2]МГУ им. М.В. Ломоносова. Факультет биоинженерии и биоинформатики, Москва, Россия

[3]МГУ им. М.В. Ломоносова. Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского, отдел биокинетики, Москва, Россия

[4]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

kne3108@gmail.com

Введение. Длительное пребывание на борту космической станции может приводить к изменениям функционирования гравитационно-зависимых и регуляторных систем организма, включая систему иммунитета и ангиогенеза. Эксперименты с длительной изоляцией испытателей-добровольцев в условиях гермообъема служат одним из видов моделирования воздействия факторов космического полета на организм человека. Среди них важное место занимает осуществленный на базе Наземного экспериментального комплекса ИМБП РАН (НЭК) проект SIRIUS-23 – 366-суточный изоляционный эксперимент, воспроизводящий основные характеристики перспективной межпланетной экспедиции. Однако до настоящего времени остаются малоизученными вопросы о процессах, происходящих при длительном воздействии негативных факторов космического полета на продукцию основных компонентов контрольной точки иммунитета PD-1/PD-L1, а именно, растворимых форм рецептора программируемой гибели клеток (sPD-1) и его лиганда (sPD-L1), а также ключевых факторов системы ангиогенеза (VEGF, VEGF-R2), которые играют важную роль в регуляции клеточного и гуморального иммунитета и функционировании сердечно-сосудистой системы. Следует отметить, что изучение лиганда VEGF и рецептора VEGF-R2 у человека при различных состояниях и заболеваниях проводятся достаточно длительный период времени, при этом показано, что VEGF является активатором экспрессии PD-L1. Исследование растворимых форм основных компонентов контрольной точки иммунитета PD-1/PD-L1 (sPD-1, sPD-L1) представляет новое перспективное научного направление в регу-

ляции иммунитета. При этом, известно, что сигнальная система PD-1/PD-L1 обладает одновременно двойственным эффектом на иммунные клетки, с одной стороны – стимулирует апоптоз антиген-специфичных Т-клеток, а с другой – подавляет апоптоз регуляторных, супрессорных Т-клеток. Происхождение растворимых форм sPD-1 и sPD-L1 до настоящего времени не известно, полагают, что они могут образовываться либо в результате гидролитического отщепления внеклеточного домена мембраносвязанной молекулы, либо на более раннем этапе – при альтернативном сплайсинге мРНК этой нативной мембранной формы.

Цель работы – изучение динамики растворимых форм рецептора программируемой гибели клеток (PD-1) и его лиганда (PD-L1), а также фактора роста эндотелия сосудов (VEGF) и его рецептора (VEGF-R2) в сыворотке крови человека в условиях 366-суточного эксперимента с изоляцией в гермообъекте с искусственной средой обитания.

Материалы и методы. Проведен двенадцатимесячный изоляционный эксперимент SIRIUS-23 с участием 6 испытателей-добровольцев в возрасте от 26 до 37 лет (4 женщины и 2 мужчин), получивших допуск врачебно-экспертной комиссии и подписавших информированное согласие на участие в эксперименте в соответствии с Хельсинской декларацией. Программа экспериментальных исследований была одобрена Комиссией по биомедицинской этике при ГНЦ РФ-ИМБП РАН, рассмотрена и утверждена на заседании Ученого Совета ГНЦ РФ-ИМБП РАН (Протокол № 643 от 07.07.2023).

Концентрации sPD-1 и sPD-L1 определяли в образцах сыворотки крови, полученной по стандартной методике, с помощью наборов реактивов для прямого иммуноферментного анализа: Human sPD-L1 Platinum ELISA и Human sPD-1 ELISA kit (Affimetrix, eBioscience, США), VEGF «Quantikine human VEGF» и VEGF-R2 «Human VEGFR2 Immunoassay» (Quantikine©, R&D Systems Inc., США) в соответствии с инструкциями производителя. Измерения проводили на автоматическом иммуноферментном анализаторе BEP 2000 Advance (Siemens Healthcare Diagnostics, Германия).

Проведен статистический анализ полученных данных методом смешанных линейных моделей (Mixed Linear Models с использованием библиотеки statmodels, Python) с включением фактора времени и пола в качестве ковариат. Метод смешанных линейных моделей учитывает фиксированные эффекты (пол, время) и случайные индивидуальные интерцепты (начальные уровни маркеров каждого субъекта), что позволяет корректно оценить групповые эффекты при наличии межиндивидуальной вариабельности. Результаты представлены для сывороточных биомаркеров sPD-1, sPD-L1, VEGF, VEGF R2

Результаты и обсуждение. Анализ динамического изменения уровней биомаркеров VEGF и VEGF R2 в сыворотке крови не показал статистически значимых изменений концентрации VEGF во времени ($p = 0,246$), а также влияния пола на уровень этого показателя ($p = 0,773$). Вместе с тем, выявили достоверное снижение концентрации VEGF-R2 во времени ($p = 0,002$) со средним изменением – 490,5 пг/мл за период наблюдения. Влияние фактора пола на динамику концентрации белка VEGF-R2 было статистически не значимо ($p = 0,179$). При проведении анализа концентраций sPD-1 и sPD-L1 в сыворотке крови отметили статистически значимое снижение во времени уровней растворимой формы рецептора программируемой гибели клетки ($p < 0,001$) специфичное для женщин со средним изменением – 1,76 пг/мл за период наблюдения. Не обнаружили статистически значимых изменений концентрации лиганда sPD-L1 во времени ($p = 0,849$) и различий с учетом пола обследованных ($p = 0,110$).

Анализ данных sPD-1 также выявил потенциальные различия в базовых уровнях между группами (женщины: 65,05 пг/мл, 95 % ДИ: 54,46-75,65; мужчины: 32,27 пг/мл, 95 % ДИ: 24,46-40,08; разница – 32,78 пг/мл, $p < 0,001$) и разницу в скорости снижения рецептора sPD-1 в сыворотке крови за период динамического наблюдения (у мужчин на 2,22 пг/мл/период меньше, $p = 0,001$) в сравнении с женщинами. Однако слишком малый размер выборки мужчин делает эти наблюдения предварительными и требующими дополнительных проверок.

Заключение. Изучение динамики растворимых форм sPD-1, sPD-L1, VEGF и VEGF-R2 в сыворотке крови человека в условиях 366-суточного эксперимента с изоляцией в гермообъекте с искусственной средой обитания позволил сделать несколько заключений. Выявили достоверное снижение концентрации VEGF-R2 в сыворотке крови во времени динамического наблюдения, но уровни рецептора не зависели от пола обследованных. Обнаружили потенциальные различия в базовых уровнях sPD-1 между женщинами и мужчинами, а также разницу в скорости снижения рецептора в сыворотке крови за период динамического наблюдения у мужчин и женщин. В тоже время для убедительных выводов необходимо увеличивать выборку участников эксперимента.

CONCENTRATIONS OF SOLUBLE FORMS OF PROGRAMMED CELL DEATH RECEPTOR 1 (PD-1) AND ITS LIGAND (PD-L1), AS WELL AS VASCULAR ENDOTHELIAL GROWTH FACTOR (VEGF) AND RECEPTOR (VEGF-R2) IN THE BLOOD SERUM OF VOLUNTEER TEST SUBJECTS IN AN EXPERIMENT WITH 366-DAY ISOLATION IN A HERMETIC VOLUME (SIRIUS-23)

Kushlinsky N.E.[1], Alferov A.A.[1], Kuzmin Yu.B.[1], Gorbatenko V.O.[2], Chistyakov D.V.[3], Ponomarev S.A.[4], Vlasova D.D.[4], Baranov V.M.[4], Stilidi I.S.[1]

[1]National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Blokhin of the Ministry of Health, Moscow, Russia
[2]Lomonosov Moscow State University, Faculty of Bioengineering and Bioinformatics, Moscow, Russia
[3]Lomonosov Moscow State University, A.N. Belozersky Research Institute of Physicochemical Biology, Department of Biokinetics, Moscow, Russia
[4]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

kne3108@gmail.com

Introduction. A long stay on board a space station can lead to changes in the functioning of gravity-dependent and regulatory systems of the body, including the immune and angiogenesis systems. Experiments with long-term isolation of volunteer test subjects in a hermetic volume serve as one of the types of modeling the impact of space flight factors on the human body. Among them, an important place is occupied by the SIRIUS-23 project, a 366-day isolation experiment reproducing the main characteristics of a promising interplanetary expedition, carried out at the Ground Experimental Complex of the Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (NEC). However, to date, the issues of the processes occurring during long-term exposure to negative factors of space flight on the production of the main components of the PD-1/PD-L1 immune checkpoint, namely, soluble forms of the programmed cell death receptor (sPD-1) and its ligand (sPD-L1), as well as key factors of the angiogenesis system (VEGF, VEGF-R2), which play an important role in the regulation of cellular and humoral immunity and the functioning of the cardiovascular system, remain poorly understood. It should be noted that the study of the VEGF ligand and VEGF-R2 receptor in humans in various conditions and diseases has been carried out for a fairly long period of time, and it has been shown that VEGF is an activator of PD-L1 expression. The study of soluble forms of the main components of the PD-1/PD-L1 immune checkpoint (sPD-1, sPD-L1) represents a new promising scientific direction in the regulation of immunity. At the same time, it is known that the PD-1/PD-L1 signaling system has a dual effect on immune cells: on the one hand, it stimulates apoptosis of antigen-specific T cells, and on the other, it suppresses apoptosis of regulatory, suppressor T cells. The origin of soluble forms of sPD-1 and sPD-L1 is still unknown; it is believed that they can be formed either as a result of hydrolytic cleavage of the extracellular domain of the membrane-bound molecule, or at an earlier stage - during alternative splicing of mRNA of this native membrane form. The aim of the work is to study the dynamics of soluble forms of the receptor of programmed cell death (PD-1) and its ligand (PD-L1), as well as vascular endothelial growth factor (VEGF) and its receptor (VEGF-R2) in human blood serum under the conditions of a 366-day experiment with isolation in a hermetic object with an artificial habitat. Materials and methods. A twelve-month isolation experiment SIRIUS-23 was conducted with the participation of 6 volunteer test subjects aged 26 to 37 years (four women and two men), who received approval from the medical expert commission and signed informed consent to participate in the experiment in accordance with the Declaration of Helsinki. The experimental research program was approved by the Biomedical Ethics Committee of the Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, reviewed and approved at a meeting of the Academic Council of the Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (Protocol No. 643 dated July 7, 2023).

Concentrations of sPD-1 and sPD-L1 were determined in blood serum samples obtained according to the standard method using direct enzyme immunoassay reagent kits: Human sPD-L1 Platinum ELISA and Human sPD-1 ELISA kit (Affimetrix, eBioscience, USA), VEGF «Quantikine human VEGF» and VEGF-R2 «Human VEGFR2 Immunoassay» (Quantikine©, R&D Systems Inc., USA) in accordance with the manufacturer's instructions. Measurements were performed on an automatic enzyme immunoassay analyzer BEP 2000 Advance (Siemens Healthcare Diagnostics, Germany). Statistical analysis of the obtained data was performed using the mixed linear models method (Mixed Linear Models using the statmodels library, Python) with the inclusion of time and gender as covariates. The mixed linear models method takes into account fixed effects (gender, time) and random individual intercepts (initial marker levels of each subject), which allows for the correct assessment of group effects in the presence of interindividual variability. The results are presented for serum biomarkers sPD-1, sPD-L1, VEGF, VEGF R2.

Results and discussion. Analysis of dynamic changes in the levels of VEGF and VEGF R2 biomarkers in the blood serum did not show statistically significant changes in VEGF concentration over time ($p = 0.246$), as well as the effect of gender on the level of this indicator ($p = 0.773$). At the same time, a reliable decrease in the concentration

of VEGF-R2 over time was revealed (p = 0.002) with an average change of 490.5 pg / ml over the observation period. The effect of gender on the dynamics of the VEGF-R2 protein concentration was statistically insignificant (p = 0.179). When analyzing the concentrations of sPD-1 and sPD-L1 in the blood serum, a statistically significant decrease in the levels of the soluble form of the programmed cell death receptor over time was noted (p < 0.001) specific to women with an average change of 1.76 pg / ml over the observation period. No statistically significant changes in sPD-L1 ligand concentrations over time (p = 0.849) or differences in gender (p = 0.110) were found.

Analysis of sPD-1 data also revealed potential differences in baseline levels between groups (women: 65.05 pg/ml, 95 % CI: 54.46-75.65; men: 32.27 pg/ml, 95 % CI: 24.46-40.08; difference: - 32.78 pg/ml, p < 0.001) and a difference in the rate of decrease in serum sPD-1 receptor over the follow-up period (in men, 2.22 pg/ml/ period less, p = 0.001) compared to women. However, the small sample size of men makes these observations preliminary and requiring additional verification.

Conclusion. The study of the dynamics of soluble forms of sPD-1, sPD-L1, VEGF and VEGF-R2 in human blood serum under the conditions of a 366-day experiment with isolation in a hermetic object with an artificial habitat allowed us to draw several conclusions. A reliable decrease in the concentration of VEGF-R2 in the blood serum during the dynamic observation was revealed, but the receptor levels did not depend on the gender of the subjects. Potential differences in the baseline levels of sPD-1 between women and men, as well as a difference in the rate of receptor decrease in the blood serum during the dynamic observation period in men and women were found. At the same time, to make convincing conclusions, it is necessary to increase the sample of experiment participants.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА «ГОМЕОСТАТ» НА ПРИМЕРЕ УЧАСТНИКОВ ГОДОВОГО ИЗОЛЯЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА SIRIUS-23

Литвинов Е.О., Еськов К.Н., Швед Д.М., Некто А.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

spacepsycraft@outlook.com

Высадка людей на поверхность Луны и сопутствующая ей внекорабельная деятельность (ВКД) требует основательной подготовки и прогнозирования работоспособности экипажа для ее осуществления. Для изучения сопутствующих факторов, а также обеспечения медико-биологической безопасности, включающей в себя психологическую готовность и надежность при выполнении поставленных перед экипажами задач, проводятся модельные эксперименты с долгосрочной изоляцией, имитирующие полет на Луну с проведением ВКД.

Во время эксперимента SIRIUS-23 члены экипажа осуществили 5 имитируемых высадок на поверхность Луны, в структуре которых предлагалось выполнить ряд задач в виртуальной реальности с загруженным сценарием ВКД на лунной поверхности. Также было необходимо выполнить задание на модели лунного напланетного ровера, а также с помощью системы обезвешивания и виртуальной реальности выполнить сценарную миссию на фоне моделируемой лунной гравитации. Для каждой запланированной ВКД из всех участников изоляции (6 человек) выделялась группа из 4 человек, которые выполняли задачи ВКД. Из них в каждой отдельной сессии непосредственно участвовало 2 человека. Еще один – оператор, оставался в модуле и имел возможность зачитывать по аудиосвязи инструкции и рекомендации по выполнению задач ВКД, имел связь с внешней группой технического обеспечения и передавать команды относительно хода ВКД, изменения регламента, а также инструкции по устранению возникающих нештатных ситуаций.

В течение всего эксперимента все участники без исключения выполняли задачи с использованием метода «Гомеостат». Гомеостатические задачи – задачи для решения которых необходимо участие нескольких операторов (от 2 до 4) сводятся к тому, чтобы совместными усилиями и невербальным *взаимодействием* приводить разбалансированную систему в состояния устойчивого динамического равновесия (наподобие *гомеостаза* в биологических системах). Для осуществления ВКД требуется одновременное участие нескольких человек, деятельность, поведение и результативность которых может быть оценена математически. Нас интересовало, насколько эффективное решение гомеостатических задач (совместное управление моделью эргатической системы «человек-машина») соотносится с деятельностью экипажа эксперимента при выполнении ВКД. Для этого в аналогичном сочетании проводилось тестирование пар групп высадки с помощью аппаратно-программного комплекса «Гомеостат». Тестирование в ряде случаев проводилось

до очередного ВКД, а в ряде случаев *после*. Промежутки времени сессий тестирования на «Гомеостате» до и после были одинаковыми, в соответствии с общей циклограммой эксперимента. При этом, сессий по методике «Гомеостат» было больше.

Анализ ВКД производился в соответствии с протоколом наблюдения, в котором учитывались следующие поведенческие аспекты, влияющие на ход выполнения ВКД:

- время выполнения каждой из частей миссии;
- особенности коммуникации членов ВКД между друг другом и оператором сопровождения;
- реакции на нештатные ситуации и способы из разрешения;
- количество попыток в рамках отведенного времени на выполнения заданий ВКД.

Сессии ВКД отличались между собой: *сложные сессии с разрешением сложных* ситуаций – сессии, в которых возникали нештатные ситуаций (проблемы со связью, неполадки оборудования, нарушение регламента, не следование инструкции и т. д.) и успешным их разрешением; *сложные сессии с возникновением нештатных ситуаций без их разрешения*; *простые сессии* – в которых не возникали сложные ситуации, все участники следовали инструкциям и коррекциям со стороны оператора. В зависимости от этого каждой сессии присваивался ранг: сложные сессии с разрешением сложных ситуаций – 3 балла; простые сессии – 2 балла; сложные сессии без разрешения сложных ситуаций – 1 балл. Баллы суммировались, и таким образом каждая сессия ВКД в исполнении пары из группы высадки получила свой ранг по результатам всех проведенных совместных *взаимодействий*.

При выполнении задач по методике «Гомеостат» операторам в тех же парах предлагалось выполнить 4 задачи за сессию тестирования. Оценивались следующие параметры:

- результативность (в %) – количество решенных задач;
- среднее время решения задач;
- лидерская активность оператора (насколько действия одного оператора приближали или отдаляли решение общей задачи);
- моторная активность оператора.

Для формирования рангов использовались критерии результативности и времени. Каждой из возможных пар (15 сочетаний при 6 людях) присваивался суммарный ранг эффективности взаимодействия.

Пары участников эксперимента выполняли ВКД не одинаковое число раз. Поэтому, согласно данным протоколов ВКД, данные были упорядочены на основании сравнения максимально возможного количества баллов по всем сессиям в одинаковых парах с фактически полученными баллами. Данные представлены в виде отношения и проранжированы на основании полученных значений.

Оценка успешности ВКД по протоколам и результативность по методике «Гомеостат» производилась разными исследователями, каждый из которых не знал о результатах другого до момента сопоставления результатов.

В программе IBM SPSS Statistics 23 был проведен анализ рангов по критерию Спирмена и Пирсона. Коэффициент корреляции 0,797 (Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

ВКД с участием членов наиболее результативных при решении задач по методике «Гомеостат», оказывались с более высоким рангом при анализе успешности выполнения ВКД. И наоборот, участники с более низким рангом при решении задач по методике «Гомеостат» совершали большее количество ошибок, имели большее количество негативно окрашенных эмоциональных высказываний в адрес друг друга, оператора и группы технического сопровождения («блэйминг» при коммуникации).

Выводы

1. Методика «Гомеостат» может быть использована для прогнозирования эффективности выполнения реальной совместной деятельности во время ВКД.
2. Маркеры поведения членов экипажа на ВКД и их оценка требуют более глубокого анализа и изучения (возможно при помощи аппаратно-программных средств).
3. На результативность деятельности влияют факторы эмоционального состояния, стиля поведения и коммуникации (могут рассматриваться в контексте результативности взаимодействия в зависимости от отношений в малой группе).

Работа выполнена в рамках Программы Фундаментальных научных исследований РАН FMFR-2024-003.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF EXTRACURRICULAR ACTIVITIES USING THE «HOMEOSTAT» METHOD USING THE EXAMPLE OF PARTICIPANTS IN THE ANNUAL SIRIUS-23 ISOLATION EXPERIMENT

Litvinov E.O., Eskov K.N., Shved D.M., Nekto A.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

spacepsycraft@outlook.com

The landing of humans on the surface of the Moon and the accompanying extravehicular activity (EVA) requires thorough preparation and forecasting of the crew's performance for its implementation. To study the accompanying factors, as well as to ensure medical and biological safety, including psychological readiness and reliability in fulfilling the tasks assigned to the crews, model experiments with long-term isolation are being conducted, simulating a flight to the moon with an EVA.

During the SIRIUS-23 experiment, the crew members carried out 5 simulated landings on the Moon's surface, in the structure of which it was proposed to perform a number of tasks in virtual reality with a loaded scenario of an EVA on the lunar surface. It was also necessary to complete the task on a model of a lunar rover, as well as using a dewatering system and virtual reality to perform a scenario mission against the background of simulated lunar gravity. For each planned EVA, a group of 4 people was selected from all the isolation participants (6 people) who performed the tasks of the EVA. Of these, 2 people directly participated in each individual session. Another one, the operator, remained in the module and had the opportunity to read out instructions and recommendations on how to perform EVA tasks over an audio link, had contact with an external technical support group and transmit commands regarding the progress of the EVA, changes in regulations, as well as instructions on how to eliminate emergency situations.

Throughout the experiment, all participants, without exception, performed tasks using the «Homeostat» method. Homeostatic tasks – tasks that require the participation of several operators (from 2 to 4) are reduced to bringing an unbalanced system into a state of stable dynamic equilibrium (like homeostasis in biological systems) through joint efforts and non-verbal interaction. The implementation of EVA requires the simultaneous participation of several people, whose activities, behavior and effectiveness can be evaluated mathematically. We were interested in how effective the solution of homeostatic problems is (joint management of the human-machine ergatic system model) correlates with the activity of the experiment crew when performing the EVA. For this purpose, pairs of landing groups were tested in a similar combination using the Homeostat hardware and software complex. In some cases, testing was carried out before the next EVA, and in some cases after. The time intervals of the Homeostat testing sessions before and after were the same, in accordance with the general cyclogram of the experiment. At the same time, there were more sessions using the «Homeostat» method.

The analysis of the EVA was carried out in accordance with the monitoring protocol, which took into account the following behavioral aspects that affect the progress of the EVA:

- Time to complete each part of the mission;
- features of communication of the members of the EVA between each other and the escort operator;
- Reactions to emergency situations and ways to resolve them;
- the number of attempts within the allotted time for completing the tasks of the EVA.

The EVA sessions differed from each other: complex sessions with the resolution of complex situations – sessions in which there were abnormal situations (communication problems, equipment malfunctions, violation of regulations, failure to follow instructions, etc.) and their successful resolution; complex sessions with the occurrence of abnormal situations without their resolution; simple sessions – in which there were no difficult situations, all participants followed the instructions and corrections from the operator. Depending on this, each session was assigned a rank: complex sessions with complex situations – 3 points; simple sessions – 2 points; difficult sessions without resolving difficult situations – 1 point. The scores were summed up, and thus each session of the EVA performed by a couple from the landing group received its own rank based on the results of all the joint interactions.

When performing tasks using the «Homeostat» technique, operators in the same pairs were asked to complete 4 tasks per test session. The following parameters were evaluated:

- performance (in %) – the number of completed tasks;
- Average problem-solving time;
- operator's leadership activity (to what extent the actions of one operator brought or delayed the solution of a common problem);
- motor activity of the operator.

Performance and time criteria were used to form the ranks. Each of the possible pairs (15 combinations with 6 people) was assigned a total rank of interaction effectiveness.

The pairs of participants in the experiment performed the EVA not the same number of times. Therefore, according to the EVA protocols, the data was ordered based on a comparison of the maximum possible number of points for all sessions in identical pairs with the actual points received. The data is presented as a ratio and is ranked based on the values obtained.

The evaluation of the success of the EVA according to the protocols and the effectiveness according to the «Homeostat» method was carried out by different researchers, each of whom did not know about the results of the other until the results were compared.

In the IBM SPSS Statistics 23 program, a Spearman and Pearson ranking analysis was performed. Correlation coefficient,797 (Correlation is significant at 0.01 (two-way).

The EVAs with the participation of the members of the most effective in solving problems using the «Homeostat» method turned out to have a higher rank when analyzing the success of the EVAs. Conversely, participants with a lower rank made more mistakes when solving problems using the «Homeostat» technique, and had more negatively colored emotional statements about each other, the operator, and the technical support group («blaming» in communication).

Conclusions.

1. The «Homeostat» technique can be used to predict the effectiveness of performing real joint activities during the EVA;

2. Markers of crew members' behavior on the EVA and their assessment require deeper analysis and study (possibly using hardware and software);

3. The effectiveness of activity is influenced by factors of emotional state, behavior style and communication (can be considered in the context of the effectiveness of interaction depending on the relationship in a small group).

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА ПОРТАТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ В МОНИТОРИНГЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА БИОТКАНЕЙ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА В ГОДОВОМ ИЗОЛЯЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ SIRIUS-23

Локтионова Ю.И.[1], Жарких Е.В.[1], Пашкова Д.В.[2], Попова О.В.[2], Попова Ю.А.[2], Сидоров В.В.[3], Русанов В.Б.[2], Дунаев А.В.[1]

[1]Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орёл, Россия
[2]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия
[3]ООО НПП «ЛАЗМА», Москва, Россия

julya-loktionova@mail.ru

Введение. Длительные и сверхдлительные космические полеты (КП) невозможны без предварительного моделирования в условиях Земли. Изоляционные эксперименты, проводимые в наземном экспериментальном комплексе, позволяют оценить влияние на организм человека ряда факторов КП, таких как, например, сенсорная депривация, ограничение социальных контактов, монотония, ограниченный объем пространства и другие. Длительное нахождение в условиях изоляции приводит к мобилизации всех систем организма человека, а первыми в каскад адаптационных реакций вовлекаются микроциркуляторно-тканевые системы (МТС). МТС представляют собой наименьшие структурно-функциональные единицы органов, включающие микроциркуляторное звено системы кровообращения, капилляры лимфатической системы и клетки биотканей. МТС осуществляют доставку питательных веществ, кислорода и утилизацию продуктов жизнедеятельности клеток, что делает их ключевым звеном в поддержании микрогемодинамики организма.

В связи с чем цель данной работы – изучение динамики изменений окислительного метаболизма тканей кожи человека с помощью распределенной системы портативных анализаторов во время годовой изоляции при моделировании условий космического полета.

Материалы и методы. Для оценки параметров МТС широкое распространение получили методы оптической неинвазивной диагностики (ОНД), таки как лазерная допплеровская флоуметрия (ЛДФ) и флуоресцентная спектроскопия (ФС). Метод ЛДФ применяется для регистрации показателей микроциркуляции крови. Метод ФС используется для оценки окислительного метаболизма биотканей путем регистрации ин-

тегральных спектров флуоресценции кожи, включающих флуоресценцию никотинамид-адениндинуклеотида (НАДН), изменение амплитуды флуоресценции которого ассоциировано с изменением интенсивности метаболических процессов биоткани.

В последние годы достижения в области технологий, в частности создание вертикально-излучающих лазеров ближнего инфракрасного диапазона и высокоэффективных миниатюрных детекторов, сделали возможным разработку компактных приборов ОНД для исследования микрокровотока и тканевого метаболизма. Анализаторы «ЛАЗМА ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА») выпускаются в двух версиях: одноканальные устройства реализуют метод ЛДФ, в двухканальной модификации дополнительно интегрирован канал ФС, что позволяет проводить комплексный анализ МТС организма. Также приборы оснащены функцией беспроводной передачи данных на персональный компьютер по каналам связи Bluetooth и Wi-Fi. Массогабаритные характеристики устройств, использование беспроводных технологий передачи данных, возможность объединения нескольких анализаторов в одну распределенную систему, а также простой в использовании интерфейс управления позволяют проводить исследования как непосредственно во время космического полета на борту Международной космической станции, так и при моделировании факторов КП в условиях Земли, в том числе во время длительных изоляционных экспериментов.

Представленные результаты получены в рамках выполнения эксперимента «Исследование нейровегетативной регуляции и функционального состояния микроциркуляторно-тканевых систем в условиях 12-месячного изоляционного эксперимента» в рамках проекта SIRIUS-23.

Протокол исследования включал регистрацию параметров МТС и вариабельности сердечного ритма каждого из 6-ти членов экипажа (2 мужчин, 4 женщины), до, во время (5 сессий) и после годовой изоляции. В качестве областей исследования выбраны 4 точки на недоминатной стороне тела: кажа бассейна надглазничной артерии, тыльная поверхность предплечья на 3-4 см выше шиловидного отростка, верхняя треть внутренней поверхности голени и подошвенная поверхность дистальной фаланги первого пальца ноги. Двухканальные устройства с канал ФС закреплялись на предплечье и голени. Регистрации параметров МТС проводилась в положении лежа в течение 10 мин с предварительной адаптацией к положению тела и внешним условиям.

Результаты. В области пальца стопы нормированная на обратно отраженное излучение амплитуда флуоресценции НАДН (АНАДН) в течение первой половины периода изоляции демонстрировала устойчивый рост, достигая максимальных значений к седьмому месяцу эксперимента. В последующем наблюдалась ее постепенное снижение, и по завершении изоляции уровень АНАДН возвращался к исходным (базовым) значениям. Повышение нормированной амплитуды флуоресценции НАДН свидетельствует о снижении интенсивности метаболической активности биотканей, что может быть вызвано высоким уровнем стресса, который сохраняется в течение всего года изоляции. В области запястья наблюдается аналогичная динамика АНАДН, однако внимание привлекает увеличение разброса значение параметра во втором полугодии изоляции, который снижается после ее окончания, но не достигает базовых значений. Такая динамика отражает индивидуальные изменения интенсивности метаболизма и иллюстрируют необходимость формирования персонифицированного подхода к оценке влияния как моделируемых, так и реальных факторов КП на организм человека.

На основе данных вариабельности сердечного ритма испытуемые были разделены на 2 группы: в первую группы вошли 4 испытуемых с преобладающим симпатическим типом регуляции, во втору группу вошли 2 члена экипажа с преобладающим парасимпатическим типом регуляции. Группа 2 изначально характеризуется более низкими значениями АНАДН в области пальцев ног по сравнению группой 1. Однако со второй сессии таких различий не наблюдается, что говорит о генерализованном влиянии условий изоляции на организм в двух группах испытуемых.

Заключение. Впервые разработана методика регистрация параметров микроциркуляторно-тканевых систем организма человека в условиях годового изоляционного эксперимента с помощью распределенной системы портативных оптических анализаторов. Полученные результаты отражают снижение интенсивности метаболизма во время годовой изоляции, которое в большей степени выражено в области пальцев ног. Также результаты исследования подчеркивают необходимость формирования персонализированного подхода к подготовке космонавтов к КП, основой которого может стать распределенный мониторинг параметров МТС, учитывающий регионарные особенности организма.

DISTRIBUTED SYSTEM OF PORTABLE OPTICAL ANALYZERS FOR MONITORING THE OXIDATIVE METABOLISM OF HUMAN BODY TISSUES IN THE ANNUAL SIRIUS-23 ISOLATION EXPERIMENT

Loktionova Yu.I.[1], Zharkikh E.V.[1], Pashkova D.V.[2], Popova O.V.[2], Popova Yu.A.[2], Sidorov V.V.[3], Rusanov V.B.[2], Dunaev A.V.[1]

[1]Orel State University, Orel, Russia
[2]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[3]SPE "LAZMA" Ltd, Moscow, Russia

julya-loktionova@mail.ru

Introduction. Long-term and ultra-long space flights (SF) are impossible without preliminary modeling in the conditions of the Earth. Isolation experiments conducted in a ground-based experimental complex make it possible to assess the impact of a number of SF factors on the human body, such as, for example, sensory deprivation, restriction of social contacts, monotony, limited space, and others. Prolonged exposure to isolation conditions leads to the mobilization of all human body systems, and the microcirculatory-tissue systems (MTS) are the first to be involved in the cascade of adaptive reactions. MTS are the smallest structural and functional units of organs, including the microcirculatory link of cardiac system, capillaries of the lymphatic system and cells of biological tissues. MTS deliver nutrients, oxygen, and waste products of cells, which makes them a key link in maintaining the microhemodynamics of the body.

In this regard, the purpose of this work is to study the dynamics of changes in the oxidative metabolism of human skin tissues using a distributed system of portable analyzers during annual isolation while simulating space flight conditions.

Materials and methods. Methods of optical noninvasive diagnostics (OND), such as laser Doppler flowmetry (LDF) and fluorescence spectroscopy (FS), are widely used to evaluate MTS parameters. The LDF method is used to register blood microcirculation parameters. The FS method is used to evaluate the oxidative metabolism of biological tissues by recording integral skin fluorescence spectra, including nicotinamide adenine dinucleotide (NADH) fluorescence, a change in the fluorescence amplitude of which is associated with a change in the intensity of metabolic processes of biological tissue.

In recent years, advances in technology, in particular the creation of vertically emitting near-infrared lasers and highly efficient miniature detectors, have made it possible to develop compact OND devices for studying microcirculation and tissue metabolism. "LASMA PF" analyzers (SPE "LAZMA" Ltd) are available in two versions: single-channel devices implement the LDF method, and the FS channel is additionally integrated in the two-channel modification, which allows for a comprehensive MTS analysis of the body. The devices are also equipped with the function of wireless data transmission to a personal computer via Bluetooth and Wi-Fi communication channels. The mass and size characteristics of the devices, the use of wireless data transmission technologies, the ability to combine several analyzers into one distributed system, as well as an easy-to-use control interface allow for research both directly during SF aboard the International Space Station and when modeling SF factors in Earth conditions, including during long-term isolation experiments.

The presented results were obtained as part of the experiment «Investigation of neurovegetative regulation and the functional state of microcirculatory-tissue systems in a 12-month isolation experiment» during the SIRIUS-23 project.

The study protocol included recording the MTS parameters and heart rate variability of each of the 6 crew members (2 men, 4 women), before, during (5 sessions) and after a year of isolation. Four points on the non-dominant side of the body were selected as study areas: the basin of the supraorbital artery, the dorsal surface of the forearm 3-4 cm above the styloid process, the upper third of the inner surface of the shin, and the plantar surface of the distal phalanx of the first toe. Two-channel devices with FS channels were attached to the forearm and shin. MTS parameters were recorded in a supine position for 10 minutes with preliminary adaptation to body position and external conditions.

Results. In the toe area, the normalized to back-reflected radiation NADH fluorescence amplitude (ANADH) showed steady growth during the first half of the isolation period, reaching maximum values by the seventh month of the experiment. Subsequently, its gradual decrease was observed, and upon completion of isolation, the level of ANADH returned to the initial (baseline) values. An increase in the normalized amplitude of NADH fluorescence indicates a decrease in the intensity of metabolic activity of biological tissues, which may be caused by a high level of stress that persists throughout the year of isolation. There is a similar dynamic of ANADH in the wrist area, however, attention is drawn to the increase in the spread of the parameter value in the second half of the isolation year, which decreases after its completion, but does not reach the basic values. Such dynamics reflect

individual changes in metabolic rate and illustrate the need for a personalized approach to assessing the impact of both simulated and real SF factors on the human body.

Based on the data of heart rate variability, the subjects were divided into 2 groups: the first group included 4 subjects with a predominant sympathetic type of regulation, the second group included 2 crew members with a predominant parasympathetic type of regulation. Group 2 was initially characterized by lower values of ANADH in the toe area compared to group 1. However, no such differences were observed from the second session, which indicates a generalized effect of isolation conditions on the body in the two groups of subjects.

Conclusion. For the first time, a technique has been developed for recording the parameters of the microcirculatory and tissue systems of the human body under conditions of an annual isolation experiment using a distributed system of portable optical analyzers. The results obtained reflect a decrease in metabolic rate during annual isolation, which is more pronounced in the toe area. The results of the study also make a point of personalized approach to cosmonaut training for SF, which can be based on distributed monitoring of MTS parameters, taking into account the regional characteristics of the body.

КОГНИТИВНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЯХ

Лысенко Н.Е., Наумов Н.Н., Пеева О.Д.

Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и наркологии им. В.П. Сербского Минздрава РФ, Москва, Россия

niknaum2003@yandex.ru

Введение. Данное исследование было проведено в рамках эксперимента «SIRIUS-23» и направлено на изучение механизмов решения когнитивных задач и принятия решений в конфликтных ситуациях с учетом психофизиологических и психологических маркеров.

Методы и выборка. В исследовании приняли участие 6 членов международного экипажа (2 мужчин 30–37 лет и 4 женщины 25–35 лет), прошедшие медицинский и психологический отбор. Экспериментальный протокол был одобрен комиссией по биоэтике. За 14-е суток до начала изоляции испытуемым проводилась экспериментальная процедура, которая включала предъявление серии из пяти видеостимулов, включающих одну тренировочную и четыре конфликтные (угроза физической безопасности и унижение, каждая – в вариантах единичного и длительного предъявления). Длительность каждой видеозаписи составляла около 40 секунд. После каждого видеоролика испытуемым предлагалось выбрать вариант реагирования в ситуации от лица главного героя (потерплю; постараюсь договориться; оскорблю / ударю / отомщу; уйду; буду настаивать на своем; позову на помощь). После этого в течение 1 минуты выполнялся тест Струпа, позволяющий оценить степень когнитивного контроля на основании количества прочитанных слов и ошибок в неконгруэнтных пробах. Затем выполнялся тест Кагана, позволяющий оценить импульсивный – рефлексивный когнитивный стиль, при выполнении которого подсчитывались время выполнения и точность выбора. В последующем испытуемые заполняли структурированный самоотчет об эмоциональных реакциях, переживаемых ими во время просмотра видео, который включал перечень эмоций в соответствии с теорией Плутчека и их интенсивность по 4-балльной шкале.

Во время экспериментальной процедуры производилась регистрация ЭКГ с анализом частотно-временных характеристик и расчетом ряда вариабельностных показателей, в частности индекс напряженности (ИН). Также использовался комплекс психологических опросников, оценивающих личностные черты, стратегии саморегуляции, копинг-стили, и смысложизненные ориентации. Статистическая обработка проводилась в SPSS-26 с применением непараметрических критериев Крускала–Уоллиса и Вилкоксона, а также корреляционного анализа по Пирсону.

Результаты. Анализ выявил значимые ассоциации между типом конфликтной ситуации, эмоциональными реакциями, индивидуально-психологическими особенностями и характеристиками когнитивной деятельности. При единичном унижении снижение когнитивного контроля по тесту Струпа коррелировало с прокрастинацией, низкой положительной переоценкой, низким локусом контроля «Я» и общим уровнем осмысленности жизни. Время реакции в тесте Кагана положительно было связано с уровнем саморегуляции и величиной ИН, а также с интенсивностью эмоции печали, переживаемой испытателями во время просмотра видео. Время выбора варианта реагирования в ситуации связан с выраженностью уровня стресса, однако, вариант выбора способа реагирования не зависел от уровня стресса (ИН), причем это верно для всех предъявленных видеозаписей.

При единичной угрозе физической безопасности время выполнения теста Кагана увеличивалось при высоком уровне печали, отвращения и высоком ИН. Время выбора варианта реагирования в ситуации обратно связано с активацией развлечения, активацией получения поощрения, депрессивностью.

В условиях длительного унижения время выполнения теста Кагана возрастало при низкой импульсивности, низкой экстраверсии и высокой сензитивности. Когнитивный контроль в этой ситуации положительно было связано с настойчивостью, самоконтролем и удовлетворенностью жизнью. Время выбора варианта реагирования в конфликте обратно связано депрессивностью, бдительностью, активацией поощрения, Локус контролем «жизнь».

В условиях длительной угрозы время решения задачи в тесте Кагана было связано с низким показателем положительной переоценки; более высокая выраженность эмоций страха, гнева и стыда при предъявлении ситуации длительной угрозы связано с более высоким уровнем стресса при выполнении задачи в тесте Кагана. Время выбора варианта реагирования связано с активацией цели, предпочтением простых задач, смысложизненными ориентациями «процесс» и «результат».

Групповой анализ показал, что ИН был выше при единичной угрозе, чем при единичном унижении, а время выполнения теста Кагана в угрожающей ситуации превышало таковое при унижении. Когнитивный контроль был выше после длительного унижения по сравнению с длительной угрозой.

Выводы. Содержание и длительность конфликтных ситуаций, а также переживаемые эмоции имеют связь с когнитивной продуктивностью и выбором стратегии реагирования в условиях изоляции. Индивидуально-психологические особенности саморегуляции и принятия решений играют ключевую роль в формировании поведенческих паттернов. Высокий уровень физиологического напряжения (ИН) чаще наблюдается у лиц, склонных к сопоставлению своих возможностей с требованиями ситуации и стремлению выделиться.

COGNITIVE EFFICIENCY AND DECISION-MAKING IN CONFLICT SITUATIONS

Lysenko N.E., Naumov N.N., Peeva O.D.

V.P. Serbsky National Medical Research Center for Psychiatry and Narcology, Moscow, Russia

niknaum2003@yandex.ru

Introduction. This study was conducted as part of the "SIRIUS-23" experiment and aimed to investigate the mechanisms of solving cognitive tasks and making decisions in conflict situations, taking into account psychophysiological and psychological markers.

Methods and Sample. The study involved six members of an international crew (two men aged 30–37 and four women aged 25–35) who had undergone medical and psychological selection. The experimental protocol was approved by the bioethics committee. Fourteen days before the start of isolation, the participants underwent an experimental procedure that included presenting a series of five video stimuli: one training video and four conflict scenarios (threat to physical safety and humiliation, each in single and prolonged presentation variants). The duration of each video was about 40 seconds. After each video clip, participants were asked to choose a response option in the situation on behalf of the main character ("I will endure it"; "I will try to negotiate"; "I will insult / hit / take revenge"; "I will leave"; "I will insist on my own"; "I will call for help").

After that, the Stroop test was performed for 1 minute to assess the degree of cognitive control based on the number of words read and errors in incongruent trials. Then, the Kagan test was administered to assess the impulsive–reflective cognitive style, with completion time and accuracy recorded. Subsequently, participants completed a structured self-report of emotional reactions experienced during video viewing, which included a list of emotions according to Plutchik's theory and their intensity on a 4-point scale.

During the experimental procedure, ECG was recorded with analysis of frequency–time characteristics and calculation of several variability indicators, in particular, the Stress Index (SI). A set of psychological questionnaires was also used to assess personality traits, self-regulation strategies, coping styles, and life-meaning orientations. Statistical processing was carried out in SPSS-26 using the nonparametric Kruskal–Wallis and Wilcoxon tests, as well as Pearson correlation analysis.

Results. The analysis revealed significant associations between the type of conflict situation, emotional reactions, individual psychological characteristics, and cognitive performance indicators. In the case of single humiliation, a decrease in cognitive control according to the Stroop test correlated with procrastination, low positive reappraisal, low "Self" locus of control, and the overall level of life meaningfulness. Reaction time in the Kagan test was positively associated with self-regulation level and SI magnitude, as well as with the intensity of sadness experienced during video viewing. The time taken to choose a response option was related to stress

level, but the choice of response type did not depend on stress level (SI), and this was true for all presented videos.

In the case of a single threat to physical safety, Kagan test completion time increased with higher levels of sadness, disgust, and higher SI. The time taken to choose a response option was inversely related to activation of entertainment, reward-seeking activation, and depressiveness.

Under prolonged humiliation, Kagan test completion time increased with low impulsivity, low extraversion, and high sensitivity. Cognitive control in this situation was positively associated with persistence, self-control, and life satisfaction. The time taken to choose a response option in conflict was inversely related to depressiveness, vigilance, reward activation, and the "Life" locus of control.

In the case of prolonged threat, Kagan test task completion time was associated with a low positive reappraisal score; higher intensity of fear, anger, and shame during the prolonged threat situation was associated with higher stress levels while performing the Kagan test. The time taken to choose a response option was associated with goal activation, preference for simple tasks, and life-meaning orientations "process" and "result."

Group analysis showed that SI was higher during a single threat than during single humiliation, and Kagan test completion time in a threatening situation exceeded that in a humiliation situation. Cognitive control was higher after prolonged humiliation compared to prolonged threat.

Conclusions. The content and duration of conflict situations, as well as the emotions experienced, have a differentiated impact on cognitive productivity and the choice of coping strategies under isolation conditions. Individual psychological characteristics of self-regulation and decision-making play a key role in shaping behavioral patterns. A high level of physiological tension (SI) is more often observed in individuals inclined to compare their capabilities with situational demands and to seek distinction.

ОСОБЕННОСТИ КОГНИТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СОЧЕТАНИЯ ДЕПРИВАЦИИ СНА, СЕНСОРНОЙ ДЕПРИВАЦИИ И ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СТРЕССА (МИССИЯ SIRIUS-23)

Лысенко Н.Е., Гвоздева А.А.

Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и наркологии им. В.П. Сербского Минздрава РФ, Москва, Россия

nlisenko@yandex.ru, gvozdeva.anastasia2018@yandex.ru

Профессиональная деятельность космонавтов неразрывно связана с возникновением ситуаций, угрожающих жизни. Ситуации риска сопровождаются невозможностью получения помощи извне в связи с изоляцией космонавтов. Изоляция наравне с эмоциональными, физиологическими, психологическими нагрузками и депривацией сна приводит к состоянию дистресса. Это негативно влияет на состояние работоспособности, а также на внимание испытателей и космонавтов.

С увеличением продолжительности миссий возрастает вероятность возникновения стресса и депривации сна. Нарушения внимания могут привести к допущению критичных ошибок во время выполнения поставленных задач. Это в свою очередь указывает на необходимость внедрения профилактических мер, способствующих предотвращению состояний низкой работоспособности и нарушенного внимания.

Работоспособность понимается как функциональное состояние организма и возможность целенаправленно выполнять заданное количество работы определенного качества за указанное время. Для оценки работоспособности в данном исследовании используются критерии ошибаемости (количество ошибочных действий) и утомляемости (снижение концентрации внимания и точности решений в результате напряженной деятельности).

Цель исследования заключается в выявлении нарушений работоспособности и внимания у членов экипажа, в условиях депривации сна с наличием и отсутствием эмоционального стресса во время 12-месячной изоляции в гермообъектах эксперимента SIRIUS-2023.

В рамках 12-месячного эксперимента SIRIUS-23 были изучены показатели работоспособности и внимания у 6 членов международного экипажа, состоящего из 2 мужчин в возрасте от 30 до 37 лет и 4 женщин в возрасте от 25 до 35 лет. Все 6 испытуемых прошли медицинский и психологический отбор и подписали информированное согласие. Протокол эксперимента SIRIUS-23 был утвержден комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН. В ходе изоляции исследование проводилось в следующие периоды: 1) депривация 1 - депривация сна без эмоционального стресса, сон отсутствовал в течение 26 часов; 2) депривация 2 – сочетание депривации сна и стресса, имеющего эмоциональное негативное содержание (отмена стыковки с грузовым кораблем), сон отсутствовал 26 часов; 3) депривация 3 – сочетание депри-

вации сна и стресса с эмоциональными позитивными последствиями (успешной состыковкой и получением подарков от близких) через 25–26 часов без сна.

Трехэтапная процедура обследования включала исходный фон с предъявлением фотографий природы (5 минут), выполнение модифицированного варианта корректурной пробы Бурдона (3 минуты), итоговый фон (5 минут). Обследуемым предлагалось выполнить пробу Бурдона с тремя условиями: подчеркивание, зачеркивание и обведение одной из букв по образцу. Содержание бланка корректурной пробы Бурдона в разные этапы депривации различалось. Выделены следующие показатели внимания: количество ошибок; число просмотренных строк; объем работоспособности - число просмотренных знаков; количество верно отмеченных знаков; концентрация внимания; устойчивость внимания (темп выполнения); индекс безошибочности; точность; продуктивность.

Статистическая обработка производилась с использованием описанных выше показателей по всей корректурной пробе и по каждой минуте корректурной пробы отдельно.

По результатам проведенного анализа можно отметить, что на третьей минуте депривации 1 в корректурной пробе было меньшее верно зачеркнутых букв (1,17) по сравнению с этапом депривации 2 (2,50) (2,021 p = 0,04). Показатель точности был ниже на этапе депривации 1 (ранг 1,17), чем на этапе депривации 2 (ранг 2,33) (2,021 p = 0,04).

При оценке параметров внимания и работоспособности, имеющих эмоциональные позитивные последствия, было выявлено, что во время депривации 2, меньшее количество ошибок отмечалось у лиц с оптимальной начальной концентрацией на задании, меньшей отвлекаемостью. Меньше ошибок допускали те испытатели, которые придерживались медленного темпа выполнения заданий и были более внимательны к отслеживанию ошибок. Во время депривации 3 (депривация сна и стресс с эмоциональным положительным содержанием), низкое количество ошибок отмечалось у испытателей, которым была свойственна более высокая точность на 1 минуте корректурной пробы.

При анализе различий в показателях внимания в условиях депривации сна с наличием или отсутствием эмоционального стресса было выявлено, что во время депривации 1 отмечались признаки более низкого уровня процессов внимания, чем во время выполнения корректурной пробы на этапах депривации 2 и депривации 3. Данные свидетельствуют о том, что условия депривации 1 способствуют быстрому истощению процессов внимания, что может быть следствием отсутствием дополнительного эмоционального стресса. Известно, что при сенсорном голоде мозг снижает активность, в результате чего снижается концентрация. Это может объясняться тем, что при отсутствии значимой стимуляции снижается активность в префронтальной коре, отвечающей за внимание, и базальных ганглиях.

Таким образом, в условиях сочетания депривации сна и стресса с эмоциональными позитивными последствиями (вознаграждением) меньшее количество ошибок отмечалось у лиц с оптимальной начальной концентрацией на задании, меньшей отвлекаемостью.

Полная депривация сна без дополнительного стресса оказывает более негативное влияние на работоспособность, чем депривация сна в сочетании с дополнительным эмоциональным стрессом.

«Психоэндокринные и психофизиологические профили стресс реагирования как предикторы адаптации в жизнеугрожающих ситуациях в различных гендерных, возрастных и профессиональных группах» 2022–2024 гг.

FEATURES OF COGNITIVE IMPAIRMENT IN CONDITIONS OF A COMBINATION OF SLEEP DEPRIVATION, SENSORY DEPRIVATION AND EMOTIONAL STRESS (SIRIUS-23 MISSION)

Lysenko N.E., Gvozdeva A.A.

V.P. Serbsky National Medical Research Center for Psychiatry and Narcology, Moscow, Russia

nlisenko@yandex.ru, gvozdeva.anastasia2018@yandex.ru

The professional activity of astronauts is inextricably linked with the occurrence of life-threatening situations. Risk situations are accompanied by the inability to receive outside help due to the isolation of astronauts. Isolation along with emotional, physiological, psychological stress and sleep deprivation leads to a state of distress. This negatively affects the state of working capacity, as well as the attention of testers and astronauts.

As the duration of missions increases, the likelihood of stress and sleep deprivation increases. Attention disorders can lead to making critical mistakes while completing assigned tasks. This, in turn, indicates the need to introduce preventive measures that help prevent conditions of low working capacity and impaired attention.

Working capacity is understood as the functional state of an organism and the ability to purposefully perform a given amount of work of a certain quality in a specified time. To assess performance, this study uses criteria for error (the number of erroneous actions) and fatigue (decreased concentration and accuracy of decisions as a result of strenuous activity).

The aim of the study is to identify impaired performance and attention among crew members in conditions of sleep deprivation with and without emotional stress during 12-month isolation in the hermetic facilities of the SIRIUS-2023 experiment.

As part of the 12-month SIRIUS-23 experiment, the performance and attention indicators of 6 members of the international crew, consisting of 2 men aged 30 to 37 years and 4 women aged 25 to 35 years, were studied. All 6 subjects underwent medical and psychological screening and signed an informed consent. The protocol of the SIRIUS-23 experiment was approved by the Commission on Biomedical Ethics of the SSC RF – IMBP RAS. During the isolation, the study was conducted during the following periods: 1) deprivation 1 – sleep deprivation without emotional stress, sleep was absent for 26 hours; 2) deprivation 2 – a combination of sleep deprivation and stress with an emotionally negative content (cancellation of docking with a cargo ship), sleep was absent for 26 hours; 3) deprivation 3 – a combination of sleep deprivation and stress with emotional positive consequences (successful docking and receiving gifts from loved ones) after 25-26 hours without sleep.

The three-stage examination procedure included the initial background with the presentation of nature photographs (5 minutes), the execution of a modified version of the Bourdon test (3 minutes), and the final background (5 minutes). The subjects were asked to perform the Bourdon test with three conditions: underlining, strikethroughing, and tracing one of the letters according to the pattern. The contents of the Bourdon proof-reading form varied at different stages of deprivation. The following indicators of attention are highlighted: the number of errors; the number of lines viewed; the volume of working capacity - the number of characters viewed; the number of correctly marked characters; concentration of attention; stability of attention (pace of performance); error-free index; accuracy; productivity.

Statistical processing was performed using the indicators described above for the entire the Bourdon test and for each minute of the Bourdon test separately.

According to the results of the analysis, it can be noted that at the third minute of deprivation 1, there were fewer correctly crossed-out letters in the Bourdon test (1.17) compared to the stage of deprivation 2 (2.50) (2.021 $p = 0.04$). The accuracy index was lower at the stage of deprivation 1 (rank 1.17) than at the stage of deprivation 2 (rank 2.33) (2.021 $p = 0.04$).

When assessing the parameters of attention and performance, which have emotional positive consequences, it was found that during deprivation 2, fewer errors were noted in people with optimal initial concentration on the task and less distraction. Fewer mistakes were made by those testers who followed a slow pace of completing tasks and were more attentive to tracking errors. During deprivation 3 (sleep deprivation and stress with emotionally positive content), a low number of errors were noted in the test subjects, who were characterized by higher accuracy at 1 minute of the correction test.

When analyzing the differences in attention indicators in conditions of sleep deprivation with the presence or absence of emotional stress, it was found that during deprivation 1 there were signs of a lower level of attention processes than during the correction test at stages of deprivation 2 and deprivation 3. The data indicate that the conditions of deprivation 1 contribute to the rapid depletion of attention processes this may be due to the absence of additional emotional stress. It is known that with sensory hunger, the brain reduces activity, resulting in decreased concentration. This may be due to the fact that in the absence of significant stimulation, activity in the prefrontal cortex, responsible for attention, and the basal ganglia decreases.

Thus, in conditions of a combination of sleep deprivation and stress with positive emotional consequences (reward), fewer mistakes were noted in people with optimal initial concentration on the task and less distraction.

Complete sleep deprivation without additional stress has a more negative impact on performance than sleep deprivation combined with additional emotional stress.

«Psychoendocrine and psychophysiological profiles of stress response as predictors of adaptation to life-threatening situations in various gender, age and occupational groups» 2022-2024.

МОТОРНАЯ И ВЕРБАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЕРТИКАЛЬНО-ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ИЛЛЮЗИИ В УСЛОВИЯХ 15-СУТОЧНОЙ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ. ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Ляховецкий В.А.[1], Зеленская И.С.[2], Курбанова О.Э.[2], Гайнутдинова Е.А.[2], Карпинская В.Ю.[3], Томиловская Е.С.[2]

[1]Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, Россия
[2]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия
[3]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

v_la2002@mail.ru

Исследование восприятия и действия с иллюзорными объектами позволяет оценивать работу подсистем зрительного восприятия и делать выводы о функционировании и согласованности работы вентрального и дорсального потока как в стандартных, так и в необычных условиях. Наши исследования, проведенные с помощью иллюзий Мюллер-Лайера и Понзо в рамках наземной модели гравитационной разгрузки, «сухой» иммерсии (СИ), показали, что СИ влияет преимущественно на моторный, а не на вербальный ответ на зрительные стимулы: сила геометрических иллюзий снижается на протяжении СИ при их моторной оценке (Ляховецкий и др., 2020; Соснина и др., 2021). В данной серии экспериментов мы исследовали изменение силы другой популярной геометрической иллюзии, вертикально-горизонтальной иллюзии (ВГИ), в условиях СИ.

Пилотные данные по вербальной и моторной оценке ВГИ были получены в группе из 4-х испытуемых, пребывавших в 15-дневной СИ. Для вербальной оценки была использована ВГИ в виде перевернутой буквы "Т". Длина вертикального отрезка отличалась от длины горизонтального на некий случайный декремент. Испытуемый просил экспериментатора изменить длину вертикального отрезка так, чтобы они казались ему равными. Для моторной оценки, включающей запоминание и воспроизведение стимула, предъявляемого на сенсорном экране, стимульный материал также имел вид перевернутой буквы "Т", но вертикальный и горизонтальный отрезки были равны между собой. На каждом этапе в случайном порядке в центре экрана предъявлялось 20 стимулов, по 4 изображения каждой длины. Для измерения силы иллюзорного эффекта использовали соотношение длин горизонтального и вертикального отрезков после того, как испытатель заканчивал подравнивание. Измерения проводили до погружения в СИ (Фон), на первый, третий, пятый, седьмой, десятый и пятнадцатый день СИ (СИ1, СИ3, СИ5, СИ7, С10, СИ15), а также после ее окончания (R+1).

Показано, что и вербальная, и моторная оценка ВГИ значительно зависят от длительности экспозиции. При вербальной оценке сила ВГИ в СИ1 была выше, чем в СИ3, СИ5 и СИ10. Такая картина хорошо согласуется с литературными данными. Так, известно, что сила ВГИ при вербальной оценке и подравнивании уменьшается в условиях параболического полета (Villard et al., 2005), при нарушениях работы вестибулярного аппарата (вертиго) (Clement et al., 2009), а также в условиях долговременного космического полета (Clement et al., 2012).

Для моторной оценки ВГИ наблюдалась иная картина. По мере пребывания в СИ переоценка вертикального отрезка росла. Для задачи запоминания эта переоценка была достоверна в СИ15 и после завершения СИ. При этом сила ВГИ в СИ15 была выше, чем в Фоне; после завершения СИ сила ВГИ была выше, чем в Фоне, СИ1 и СИ10. Для задачи воспроизведения переоценка вертикального отрезка была достоверна в СИ15. При этом сила ВГИ в Фоне была ниже, чем в СИ5, СИ15 и после завершения СИ. Подобное разнонаправленное поведение ВГИ при моторной и вербальной оценке несколько противоречит данным о восприятии вертикальных отрезков в длительном космическом полете (Clement et al., 2012) и требует дальнейшего изучения.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН (№ FMFR-2024-0033).

MOTOR AND VERBAL ASSESSMENT OF THE VERTICAL-HORIZONTAL ILLUSION UNDER 15-DAY DRY IMMERSION: A PILOT STUDY

Lyakhovetskii V.A.[1], Zelenskaya I.S.[2], Kurbanova O.E.[2], Gainutdinova E.A.[2], Karpinskaya V.Ju.[3], Tomilovskaya E.S.[2]

[1]Pavlov Institute of Physiology RAS, St. Petersburg, Russia
[2]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[3]St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

v_la2002@mail.ru

The study of perception and action in relation to illusory objects provides insights into the functioning of visual perception subsystems and allows researchers to draw conclusions about the work and coherence of the ventral and dorsal streams under both standard and unusual conditions. Our previous research using Müller-Lyer and Ponzo illusions in a ground-based model of gravitational unloading – Dry Immersion (DI) – has shown that DI primarily affects motor, rather than verbal, responses to visual stimuli: the strength of geometric illusions decreases during DI when assessed through motor responses (Lyakhovetskii et al., 2020; Sosnina et al., 2021). In this experimental series, we investigated the changes in strength of another widely known geometric illusion – the vertical-horizontal illusion (VHI) – under DI conditions.

Pilot data on both verbal and motor assessments of the VHI were obtained from four subjects who underwent 15 days of DI. For the verbal assessment, the VHI was presented in the form of an inverted letter "T", with the vertical line differing in length from the horizontal line by a random decrement. The subject asked the experimenter to adjust the length of the vertical line until the two appeared equal. For the motor assessment, which involved memorizing and reproducing the stimulus presented on a sensory screen, the stimulus also took the form of an inverted letter "T", but with the vertical and horizontal segments being equal in length. At each testing stage, 20 stimuli were presented in random order at the center of the screen, with 4 images for each of five different lengths. To measure the strength of the illusion, the ratio of horizontal to vertical line lengths was used after the subject completed the alignment. Measurements were taken before DI (Baseline), on days 1, 3, 5, 7, 10, and 15 of immersion (DI1, DI3, DI5, DI7, DI10, DI15), and after DI completion (R+1).

The results showed that both verbal and motor assessments of the VHI significantly depended on the duration of exposure. For the verbal assessment, the strength of the illusion on DI1 was higher than on DI3, DI5, and DI10. This pattern is consistent with findings in the literature, which show that the strength of the VHI under verbal estimation and alignment decreases in conditions such as parabolic flight (Villard et al., 2005), vestibular dysfunction (vertigo) (Clement et al., 2009), and long-duration spaceflight (Clement et al., 2012).

A different trend was observed for the motor assessment of the VHI. As DI progressed, overestimation of the vertical line increased. In the memory task, this overestimation became statistically significant on DI15 and after the end of immersion. The strength of the illusion on DI15 was greater than at Baseline; similarly, the strength after immersion was greater than at Baseline, DI1, and DI10. In the reproduction task, vertical overestimation was significant on DI15. Here, illusion strength at Baseline was lower than on DI5, DI15, and post-immersion. This divergent behavior of the VHI in motor vs. verbal assessments somewhat contradicts previous findings regarding the perception of vertical segments during long-term spaceflight (Clement et al., 2012) and needs further investigation.

Completed as part of the fundamental research program of the State Research Center of the Russian Federation – Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (No. FMFR-2024-0033).

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ СО СВЕТОДИОДНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ГАНГЛИОЗНОГО КОМПЛЕКСА СЕТЧАТКИ У ИСПЫТАТЕЛЕЙ SIRIUS В УСЛОВИЯХ ГОДОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ГЕРМООБЪЕКТЕ

Манько О.М.[1], Зуева М.В.[2], Котелин В.И.[2], Подъянов Д.А.[1], Алескеров А.М.[1], Грачева М.А.[1], Казакова А.А.[1], Осецкий Н.Ю.[1], Колесников Д.Ю.[1]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия
[2]НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца Минздрава России, Москва, Россия

olgamanko@list.ru

Цель. Изучить морфофункциональное состояние ганглиозного комплекса сетчатки в условиях годичного действия искусственного светодиодного освещения.

Методы. Оценивали функциональное состояние ганглиозных клеток сетчатки методом компьютерной периметрии, с использованием анализатора поля зрения HFA III 850 (фирмы Carl Zeiss, Германия). Была выбрана программа «Central 24-2 Threshold Test», предназначенная для исследования центральной зоны поля зрения в пределах 30° от точки фиксации. При обработке автоматически использовался алгоритм исследования SITA – интерактивный пороговый алгоритм. Светочувствительность оценивали по 4 секторам с применением статистического метода «тепловая карта» по Протоколу «коротковолновая периметрия» (SWAP-Short Wavelength Automated Perimetry). Принцип стратегии SWAP заключается в том, что тщательно выбранный светло-желтый фон десенсибилизирует зеленые и красные колбочки, однако мало влияет на функцию синих колбочек, поэтому с помощью сине-желтой периметрии исследуются синие колбочки и соответствующие им ганглиозные клетки. В электрофизиологических исследованиях функцию ГКС оценивали по амплитудно-временным параметрам фотопического негативного ответа (ФНО) в ЭРГ на красные вспышки на синем фоне, а также паттерн-ЭРГ (ПЭРГ) (RETIport/scan21, Roland Consult, Германия).

Морфометрическую оценку ганглиозных клеток сетчатки проводили с использованием оптической когерентной томографии (RTVue-100 OCT -Optovue, Inc., Fremont, CA) при анализе Протокола «GCC» («ganglion cell complex» - комплекс ганглиозных клеток).

Исследование проводили до начала изоляции, где периметрия проводилась 3-кратно в утренние часы, ОСТ и ЭФИ – однократно, и в первые сутки после изоляции.

Результаты. Анализ результатов оценки светочувствительности выявил ее снижение во всех квадрантах поля зрения обоих глаз, с преобладанием в нижне-носовом квадранте по сравнению с фоновыми значениями, где результат оценивали как среднее арифметическое из 3 фоновых измерений.

К 12-му месяцу изоляции значение показателя GLV% было увеличено у всех испытуемых, в среднем на 77 %, (среднее – 1,2) по сравнению с фоновым значением (среднее – 0,69) ($p = 0,026$). При этом максимальное значение GLV% после изоляции не превышало 2,52.

При электроретинографическом исследовании после выхода экипажа из изоляции было обнаружено уменьшение времени кульминации компонентов P50 и N95 транзиентной ПЭРГ на крупный паттерн при небольшом снижении амплитуды обеих волн (статистически недостоверно). Амплитуды ФНО практически не изменялась для ЭРГ-ответов на все яркости стимула, за исключением стимула силой 0,75 кд.sc/м^2, для которого отмечено возрастание амплитуды ($p = 0,0576$).

Заключение. В 12-месячном изоляционном эксперименте SIRIUS-23 с искусственным светодиодным освещением были получены данные свидетельствующие, о морфофункциональном дисбалансе ганглиозного комплекса сетчатки, что можно рассматривать как негативный результат длительного светодиодной световой нагрузки, так и длительной солнечной депривации.

НИР РАН FVFR-2024-0034 (1023022700092-0-3.1.4.;1.9; 5.1.1.).

THE INFLUENCE OF AN ARTIFICIAL HABITAT WITH LED LIGHTING ON THE MORPHOFUNCTIONAL STATE OF THE RETINAL GANGLION COMPLEX IN SIRIUS TESTERS UNDER CONDITIONS OF ANNUAL ISOLATION IN A HERMETIC FACILITY

Manko O.M.[1], Zuyeva M.V.[2], Kotelin V.I.[2], Podyanov D.A.[1], Aleskerov A.M.[1], Gracheva M.A.[1], Kazakova A.A.[1], Osetsky N.Yu.[1], Kolesnikov D.Yu.[1]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]NMITS of eye diseases named after Helmholtz Institute of the Russian Ministry of Health, Moscow, Russia

olgamanko@list.ru

Objective: to study the morphofunctional state of the retinal ganglion complex under conditions of annual exposure to artificial LED lighting.

Methods. The functional state of retinal ganglion cells was assessed using the computer perimetry method, using the HFA III 850 visual field analyzer (Carl Zeiss, Germany). The program «Central 24-2 Threshold Test» was selected, designed to study the central zone of the visual field within 30 ° from the fixation point. During processing, the SITA research algorithm - an interactive threshold algorithm – was automatically used. Light sensitivity was assessed in 4 sectors using the statistical method «heat map» according to the «short-wavelength perimetry» Protocol (SWAP – Short Wavelength Automated Perimetry). The principle of the SWAP strategy is that a carefully selected light yellow background desensitizes green and red cones, but has little effect on the function of blue cones, therefore, blue cones and the corresponding ganglion cells are examined using blue-yellow perimetry.

In electrophysiological studies, the function of the RGC was assessed by the amplitude-temporal parameters of the photopic negative response (PhNR) in the ERG to red flashes on a blue background, as well as pattern ERG (PERG) (RETIport/scan21, Roland Consult, Germany).

Morphometric assessment of retinal ganglion cells was performed using optical coherence tomography (RTVue-100 OST – Optovue, Inc., Fremont, CA) during the analysis of the «GCC» («ganglion cell complex») Protocol.

The study was conducted before the start of isolation, where perimetry was performed 3 times in the morning, OST and EFI - once, and on the first day after isolation.

Results. Analysis of the results of the assessment of light sensitivity revealed its decrease in all quadrants of the visual field of both eyes, with a predominance in the inferior-nasal quadrant compared to the background values, where the result was estimated as the arithmetic mean of 3 background measurements.

By 12 months of isolation, the value of the GLV% indicator was increased in all subjects, on average by 77 %, (mean – 1.2) compared to the background value (mean – 0.69) ($p = 0.026$). At the same time, the maximum value of GLV% after isolation did not exceed 2.52.

In an electroretinographic study after the crew left isolation, a decrease in the culmination time of the P50 and N95 components of the transient PERG on a large pattern was found with a slight decrease in the amplitude of both waves (statistically insignificant). The amplitude of the PhNR remained virtually unchanged for ERG responses to all stimulus brightnesses, with the exception of a stimulus with a strength of 0.75 cd.s/m^2, for which an increase in amplitude was noted ($p = 0.0576$).

Conclusion. In the 12-month isolation experiment SIRIUS-23 with artificial LED lighting, data were obtained indicating a morphofunctional imbalance of the retinal ganglion complex, which can be considered as a negative result of long-term LED light load and long-term solar deprivation.

ОЦЕНКА МОРФОСТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР ГЛАЗА УЧАСТНИКОВ МЕЖДУНАРОДНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА SIRIUS-23 ПОСЛЕ 12 МЕСЯЦЕВ ИЗОЛЯЦИИ В ГЕРМООБЪЕКТЕ

Манько О.М., Иомдина Е.Н., Милаш С.В., Тарасова Н.А., Рябина М.В., Охоцимская Т.Д., Алескеров А.М., Подъянов Д.А., Васильева Г.Ю., Колесников Д.Ю.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

olgamanko@list.ru

Цель: Оценка морфоструктурного состояния структур глаза участников международного эксперимента SIRIUS-23 после 12 месяцев изоляции в гермообъекте.

Методы. Обследовано 6 испытуемых. Всем участникам эксперимента проводили оценку остроты зрения, рефракции, биомеханических свойств корнеосклеральной оболочки глаза, толщины хориоидеи (ТХ) и комплекса ганглиозных клеток сетчатки до изоляции и через 12 мес. после ее начала (по окончании эксперимента).

Манифестную и циклоплегическую рефракцию регистрировали на авторефрактометре ARK 530A Nidek (Япония) и авторефрактометре открытого поля WR-5500K Grand Seiko (Япония).

Для оценки состояния биомеханических свойств корнеосклеральной оболочки использовался прибор Ocular Response Analyzer (ORA, Reichert, США) - анализатор биомеханических свойств глаза. ORA является бесконтактным тонометром и использует принцип динамической двунаправленной аппланации роговицы. Разница между двумя значениями внутриглазного давления, полученными в момент первой и второй аппланации, позволяет рассчитать биомеханические показатели - корнеальный гистерезис (КГ) и фактор резистентности роговицы (ФРР). КГ характеризует вязко-эластические свойства роговицы, а также всей корнеосклеральной оболочки глаза. ФРР отражает упругие свойства роговицы.

Толщину хориоидеи (ТХ) измеряли на мультимодальной платформе Mirante (Nidek, Япония). Толщину сосудистой оболочки определяли как расстояние от границы пигментного эпителия сетчатки /мембраны Бруха до хориосклерального интерфейса по 9 сегментам карты the Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS) диаметром 6 мм.

Морфометрическую оценку ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) проводили с помощью оптической когерентной томографии (RTVue-100 OCT-Optovue, Inc., Fremont, CA) при анализе Протокола GCC (ganglion cell complex – комплекс ГКС). GCC включает 1 линейный скан в горизонтальной плоскости и 15 в вертикальной с интервалом 0,5 мм. Сканируемая область имеет размеры 7,0 × 7,0 мм, и ее центр проецируется на 1 мм темпоральнее центральной ямки сетчатки, где концентрация ГКС максимальна.

Анализ содержания Витамина D (25-OH) в сыворотке крови проводили иммунохимическим методом на автоматическом анализаторе Abbott Architect 2000i до, каждые 30 суток во время и дважды после периода изоляции.

Результаты. В конце эксперимента острота зрения без коррекции недостоверно снизилась ($p > 0,05$). Манифестная рефракция также в среднем имела тенденцию к снижению, а циклоплегическая рефракция недостоверно усилилась ($p > 0,05$). У единственного обследуемого пациента с миопией близорукость увеличилась на 1 глазу на 0,38 дптр и 0,62 дптр по данным ARK 530A и WR-5500K Grand Seiko, соответственно.

Динамика биомеханических характеристик корнеосклеральной капсулы оказалась не однозначной: ФРР в конце наблюдения остался сравним с фоновыми значениями (различие недостоверно), а КГ изменился статистически значимо ($p = 0,026$) у всех испытуемых. Снижение значения КГ составило в среднем 12 %, что вдвое превышало наблюдаемое снижение КГ при 8 месячной изоляции.

Исходная субфовеальная ТХ составляла 377,283,1 мкм. Максимальная ТХ была в сегменте SI (381,376,8 мкм), минимальная в NO (255,162 мкм). После длительной изоляции достоверных изменений ТХ не выявлено ($p > 0,05$), но во всех сегментах карты EDTRS наблюдалась тенденция к уменьшению ТХ. Наибольшее снижение зафиксировано в SO (18,530,9 мкм), наименьшее в NO (4,325,8 мкм). Наибольшее суммарное уменьшение ТХ по всем сегментам карты было отмечено у испытуемой с исходной близорукостью и отмеченной в ходе эксперимента прогрессией миопии. Нельзя исключить прямого влияния длительной изоляции на сосудистую оболочку. К потенциальным механизмам, посредством которых длительная изоляция в закрытом пространстве может воздействовать на параметры хориоидеи и гемодинамики, относятся: интенсивность и спектральный состав света, контраст изображения на сетчатке, особенности аккомодации (характер дефокусировки на сетчатке), глубина фокуса, изменения в ретинальной дофаминовой сигнализации и нарушение циркадных ритмов.

К 12-му месяцу изоляции отмечалось повышение объема глобальных потерь ганглиозных клеток. Показатель GLV% составил в среднем 1,2, что было на 77 % выше исходных значений (0,69, соответствует норме) ($p = 0,026$). При этом максимальное значение GLV% после изоляции не превышало 2,52.

При этом с первого месяца изоляции у всех участников по классификации ВОЗ наблюдался дефицит или недостаточность Витамина D, несмотря на рекомендованный ежедневный прием витаминно-минерального комплекса, содержащего 400 МЕ эргокальциферола. Достоверные изменения содержания Витамина D (25-OH) в крови участников отмечены на 146, 175 ($p > 0,05$), 303, 337 ($p = 0,0007$) и 363 сутки ($p = 0,0005$).

Заключение. В 12-месячном эксперименте SIRIUS-23 на фоне постепенного снижения в крови испытателей содержания Витамина D (25-OH) впервые были выявлены негативные тенденции морфоструктурного и функционального статуса глаза, которые характеризовались снижением биомеханической устойчивости корнеосклеральной оболочки по расчетным показателям ORA, тенденцией к уменьшению толщины сосудистой оболочки глаза (ТХ), достоверно значимым увеличением значения GLV%.

Полученные результаты исследования могут указывать на отрицательное влияние длительной солнечной депривации на морфоструктурные параметры структур глаза и свидетельствовать о потенциальном снижении резерва функциональной активности зрительной системы в экстремальной среде длительного космического полета, являться провокационными факторами развития космического нейроокулярного синдрома (SANS).

НИР РАН FVFR-2024-0034 (1023022700092-0-3.1.4.;1.9; 5.1.1.).

THE INFLUENCE OF AN ARTIFICIAL HABITAT WITH LED LIGHTING ON THE MORPHOFUNCTIONAL STATE OF THE RETINAL GANGLION COMPLEX IN SIRIUS TESTERS UNDER CONDITIONS OF ANNUAL ISOLATION IN A HERMETIC FACILITY

Manko O.M., Iomdina E.N., Milash S.V., Tarasova N.A., Rjabina M.V., Ohocimskaja T.D., Aleskerov A.M., Podjanov D.A., Vasileva G.Ju., Kolesnikov D.Yu.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

olgamanko@list.ru

Objective: Assessment of the morphostructural state of the eye structures of the participants of the SIRIUS-23 international experiment after 12 months of isolation in a hermetic facility.

Methods. 6 subjects were examined. All participants in the experiment were assessed for visual acuity, refraction, biomechanical properties of the corneoscleral membrane of the eye, the thickness of the choroid (TX) and the retinal ganglion cell complex before and 12 months after isolation (at the end of the experiment).

Manifest and cycloplegic refraction were recorded on an ARK 530A Nidek autorefractometer (Japan) and a WR-5500K Grand Seiko open field autorefractometer (Japan).

The Ocular Response Analyzer (ORA, Reichert, USA), an analyzer of the biomechanical properties of the eye, was used to assess the state of the biomechanical properties of the corneoscleral membrane. The ORA is a non-contact tonometer and uses the principle of dynamic bidirectional corneal applanation. The difference between the two values of intraocular pressure obtained at the time of the first and second applanation makes it possible to calculate biomechanical parameters - corneal hysteresis (CG) and corneal resistance factor (FRF). KG characterizes the viscoelastic properties of the cornea, as well as the entire corneoscleral membrane of the eye. The FRR reflects The thickness of the choroid (TX) was measured on a multimodal Mirante platform (Nidek, Japan). The thickness of the vascular membrane was determined as the distance from the border of the retinal pigment epithelium /Bruchs membrane to the chorioscleral interface according to 9 segments of the «the Early Treatment Diabetic Retinopathy Study» (ETDRS) map with a diameter of 6 mm.

Morphometric assessment of retinal ganglion cells (GCS) was performed using optical coherence tomography (RTVue-100 OST-Optovue, Inc., Fremont, CA) using the GCC Protocol (ganglion cell complex). GCC includes 1 linear scan in the horizontal plane and 15 in the vertical plane with an interval of 0.5 mm. The scanned area measures 7.0 x 7.0 mm2, and its center is projected 1 mm more temporally than the central fossa of the retina, where the concentration of GCS is maximum.the elastic properties of the cornea.

The analysis of Vitamin D (25-OH) content in blood serum was performed using an immunochemical method on an automatic Abbott Architect 2000i analyzer before, every 30 days during, and twice after the isolation period.

Results. At the end of the experiment, visual acuity without correction decreased significantly ($p > 0.05$). Manifest refraction also tended to decrease on average, while cycloplegic refraction increased significantly ($p > 0.05$). In the only examined patient with myopia, myopia increased in 1 eye by 0.38 dpt and 0.62 dpt according to ARK 530A and WR-5500K Grand Seiko, respectively.

The dynamics of the biomechanical characteristics of the corneoscleral capsule turned out to be ambiguous: at the end of the follow-up, the FRR remained comparable to the background values (the difference was unreliable), and the KG changed statistically significantly ($p=0.026$) in all subjects. The decrease in the KG value averaged 12%, which was twice as high as the observed decrease in KG during 8 months of isolation.

The initial subfoveal TC was 377.283.1 microns. The maximum TC was in the SI segment (381.376.8 microns), the minimum was in NO (255.162 microns). After prolonged isolation, no significant changes in TX were detected ($p > 0.05$), but a tendency to decrease TX was observed in all segments of the EDTRS card. The largest decrease was recorded in SO (18.530.9 microns), the smallest in NO (4.325.8 microns). The greatest total decrease in TX in all segments of the map was noted in a subject with initial myopia and a progression of myopia noted during the experiment. The direct effect of prolonged isolation on the vascular membrane cannot be excluded. Potential

mechanisms by which prolonged isolation in an enclosed space can affect the parameters of the choroid and hemodynamics include: intensity and spectral composition of light, contrast of the image on the retina, features of accommodation (the nature of defocusing on the retina), depth of focus, changes in retinal dopamine signaling and circadian rhythm disturbances.

By 12 months of isolation, there was an increase in global ganglion cell losses. The GLV% index averaged 1.2, which was 77 % higher than the initial values (0.69, corresponds to the norm) ($p = 0.026$). At the same time, the maximum GLV% value after isolation did not exceed 2.52.

At the same time, from the first month of isolation, all participants had Vitamin D deficiency or insufficiency according to the WHO classification, despite the recommended daily intake of a vitamin and mineral complex containing 400 IU ergocalciferol. Significant changes in the Vitamin D (25-OH) content in the blood of participants were noted on days 146, 175 (p□0.05), 303, 337 ($p = 0.0007$) and 363 ($p = 0.0005$).

Conclusion. In the 12-month SIRIUS-23 experiment, against the background of a gradual decrease in the Vitamin D (25-OH) content in the blood of the test subjects, negative trends in the morphostructural and functional status of the eye were revealed for the first time, which were characterized by a decrease in the biomechanical stability of the corneoscleral membrane according to calculated ORA indicators, a tendency to decrease the thickness of the vascular membrane of the eye (TX), a significantly significant increase GLV% values.

The obtained research results may indicate the negative effect of prolonged solar deprivation on the morphostructural parameters of eye structures and indicate a potential decrease in the reserve of functional activity of the visual system in the extreme environment of long-term space flight, and may be provocative factors in the development of space neuro-ocular syndrome (SANS).

О ГОМЕОСТАТИЧЕСКОМ СТАТУСЕ УЧАСТНИКОВ ЭКСПЕРИМЕНТА SIRIUS-23

Маркин А.А., Журавлева О.А., Серова А.В., Кузичкин Д.С., Кочергин А.Ю., Воронцов А.Л., Логинов В.И., Лабецкая О.И.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

andre_markine@mail.ru

Введение. Адаптация к условиям длительного орбитального полета, несмотря на проведение профилактических мер, выражается в комплексных перестройках метаболизма. В 1984 г. О.Г. Газенко сформулировал положение об особенностях адаптации к факторам космического полета как о многофазовом последовательном процессе, проходящем фазы от первичных адаптивных реакций до периода относительной стабилизации реакций адаптации, проявляющемся формированием нового уровня гомеостаза, стабильного на протяжении длительного времени при отсутствии чрезвычайных возмущающих действий. В работах 1992–1993 годов А.И. Григорьев раскрыл молекулярный механизм адаптивных перестроек. В ходе полета снижается функциональная активность большинства эндокринных органов и контролируемых ими метаболических процессов, что выражается в минимализации их функций. Эти процессы носят системный, однонаправленный и адаптивный характер, затрагивая пластический и энергетический обмен, вызывая сдвиги в общем обмене веществ и метаболизме отдельных эффекторных органов и тканей. Вследствие невозможности проведения всестороннего биохимического исследования в космическом полете, проблема длительности отдельных фаз и периодов адаптации не решена и требует дальнейшего изучения. Проведение исследований в наземных модельных экспериментах может стать путем ее решения. Адекватной моделью, имитирующей действие на организм человека практически всех факторов космического полета, за исключением невесомости, является изоляция в гермообъеме. В эксперименте с 240-суточной изоляцией SFINKSS, проведенном в конце 90-х годов прошлого века, на 5–6 месяце изоляции обнаружены признаки стабилизации обменных процессов и формирования нового уровня гомеостаза. Остается невыясненным гомеостатический статус человека в ходе более длительного воздействия.

Цель работы. Исследование метаболических реакций испытуемых в ходе 366-суточной изоляции в гермообъекте при воздействии моделируемых стрессогенных факторов.

Материалы и методы. В эксперименте с 366-суточной изоляцией в гермообъеме приняли участие 6 испытуемых, 2 мужчин и 4 женщины, в возрасте от 27 до 38 лет. Программа эксперимента утверждена комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН, протокол № 643 от 7 июля 2023 г. Участниками подписано информированное согласие. В ходе изоляции моделировались нештатные ситуации – дефицит пищи и воды, депривация сна, операторская деятельность в условиях дефицита времени. Пробы венозной

крови отбирались из локтевой вены утром, натощак, за 28 дней до начала изоляции (фон), на 61–62-е, 124–125-е, 186–187-е, 250–251-е, 313–314-е, 354–355-е сутки эксперимента, а также на 5-й день периода восстановления. В сыворотке и плазме крови определяли величины 40 биохимических показателей, входящих в Номенклатуру клинических лабораторных исследований Минздрава РФ.

Результаты и обсуждение. К началу четвертого месяца изоляции большая часть исследованных показателей, отражающая состояние внутренних органов и тканей, а также отдельных звеньев обмена веществ, показала снижение или тенденцию к уменьшению относительно фоновых значений. Снизились величины показателей, характеризующих деятельность мышечной ткани и миокарда – креатинкиназы с изоферментами, α-гидроксибутиратдегидрогеназы, АСТ. Понизились значения показателей, характеризующих состояние желудочно-кишечного тракта – АСТ, АЛТ, глутаматдегидрогеназы, панкреатической амилазы. К этому сроку по нисходящему тренду изменялись значения параметров липидного обмена – холестерина и его фракции липопротеидов высокой плотности. Снижался уровень аполипопротеина В и индекса АпоВ/АпоА1, что связано, по-видимому, со стабильным уменьшением концентрации меди, которая является необходимым компонентом структурной организации АпоВ. Снизилось содержание альбумина и С-реактивного белка при неизменном уровне общего. При повышенной концентрации кальция, что может быть связано с диссимиляционными процессами в костной ткани, снижалось содержание в крови его антагонистов – магния и неорганического фосфора.

В период со 124-х по 250-е сутки изоляции наблюдались разнонаправленные изменения величин перечисленных показателей, однако в большинстве своем, они проходили на уровне ниже фонового, что отражает общее снижение интенсивности обменных процессов в организме испытуемых.

Признаки стабилизации отмечались в период с 250-х по 355-е сутки изоляции, что может указывать на формирование нового уровня гомеостаза, пониженного относительно исходного. Достижение данного уровня сопровождалось активацией диссимиляционных процессов в организме: начиная со 124-х суток: стабильно повышалось содержание фосфолипидов, как наиболее легко обменивающихся компонентов биомембран и выходящих в кровоток при их элиминации, а к 250-м суткам резко повышался уровень мочевой кислоты как метаболита нуклеинового обмена. При этом величины показателей функции почек – креатинина, мочевины, цистатина С – достоверно не изменялись. Подтверждением стабильности нового гомеостатического уровня может являться отсутствие достижения диапазона исходных значений величинами большинства исследованных показателей на 5-е сутки периода восстановления.

Несмотря на регулярное моделирование стрессогенных нештатных ситуаций в ходе эксперимента, они не оказали заметного влияния на метаболические реакции испытуемых, подтверждением чего явилась динамика основных энергетических субстратов, используемых организмом при развитии стресс-реакции: концентрация глюкозы во все сроки обследования была ниже исходной, а содержание триглицеридов и неэтерифицированных жирных кислот достоверно не изменялось.

Заключение. Динамика биохимических параметров в ходе эксперимента с 366-суточной изоляцией в гермообъеме показала стабильное снижение интенсивности ряда реакций обмена веществ в организме испытуемых по мере увеличения продолжительности изоляции. Снижалась интенсивность метаболизма в миокарде, мышечной ткани, печени, поджелудочной железе, а также, по косвенным показателям, в костной ткани. Во второй половине эксперимента процесс диссимиляции принял системный характер, и его признаки, начиная с 250-х суток изоляции, наблюдались в ряде звеньев обмена веществ и в метаболизме органов и тканей. На 5-е сутки периода восстановления изменения большей части исследованных показателей сохранялись. Сдвиги такого рода могут являться отражением формирования нового, измененного уровня гомеостаза, характеризующегося меньшей интенсивностью метаболизма, отвечающей условиям среды обитания.

Работа выполнена в рамках темы РАН FMFR-2024-0039.

ABOUT THE HOMEOSTATIC STATUS OF THE PARTICIPANTS IN THE EXPERIMENT SIRIUS-23

Markin A.A., Zhuravleva O.A., Serova A.V., Kuzichkin D.S., Kochergin A.Yu., Vorontsov A.L., Loginov V.I., Labetskaya O.I.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

andre_markine@mail.ru

Introduction. Adaptation to the conditions of long-term orbital flight, despite preventive measures, is expressed in complex metabolic changes. In 1984, O.G. Gazenko formulated the position on the peculiarities of adaptation

to the factors of space flight as a multiphase sequential process that goes through phases from primary adaptive reactions to a period of relative stabilization of adaptation reactions, manifested by the formation of a new level of homeostasis, stable for a long time in the absence of extreme disturbing actions. In the works of 1992–1993, A.I. Grigoriev revealed the molecular mechanism of adaptive rearrangements. During flight, the functional activity of most endocrine organs and their controlled metabolic processes decreases, which is reflected in the minimization of their functions. These processes are systemic, unidirectional and adaptive in nature, affecting plastic and energy metabolism, causing shifts in the general metabolism and metabolism of individual effector organs and tissues. Due to the impossibility of conducting a comprehensive biochemical study in space flight, the problem of the duration of individual phases and periods of adaptation has not been solved and requires further study. Conducting research in ground-based model experiments may be the way to solve it. An adequate model simulating the effect on the human body of almost all factors of space flight, except for weightlessness, is isolation in a hermetic volume. In the 240-day isolation experiment SFINKSS, conducted in the late 90s of the last century, signs of stabilization of metabolic processes and the formation of a new level of homeostasis were discovered in the 5-6 month of isolation. The homeostatic status of humans during longer exposure remains unclear.

The aim of the work. A study of metabolic reactions of subjects during 366 days of isolation in a hermetic facility under the influence of simulated stress factors.

Materials and methods. The experiment with 366-day isolation in a hermetic volume involved 6 subjects, 2 men and 4 women, aged 27 to 38 years. The experimental program was approved by the Biomedical Ethics Committee of the SSC RF – IMBP RAS, protocol No. 643 dated July 7, 2023. The participants signed informed consent. During the isolation, the subjects were exposed to emergency situations – food and water shortages, sleep deprivation, and operator activity under time pressure. Venous blood samples were taken from the ulnar vein in the morning, on an empty stomach, 28 days before the start of isolation (background), on 61–62, 124–125, 186–187, 250–251, 313–314, 354–355 the day of the experiment, as well as on the fifth day of the recovery period. The values of 40 biochemical parameters included in the Nomenclature of clinical laboratory studies of the Ministry of Public Health of the Russian Federation.

Results and discussion. By the beginning of the fourth month of isolation, most of the studied indices, reflecting the state of internal organs and tissues, as well as individual metabolic links, showed a decrease or a downward trend relative to the background values. The values of indices characterizing the activity of muscle tissue and myocardium decreased – creatine kinase with isoenzymes, α-hydroxybutyrate dehydrogenase, AST. The values of the indices characterizing the state of the gastrointestinal tract – AST, ALT, glutamate dehydrogenase, pancreatic amylase - decreased. By this time, the values of the parameters of lipid metabolism, cholesterol and its high-density lipoprotein fraction, were also changing in a downward trend. The level of apolipoprotein B and the ApoB/ApoA1 index decreased, which is apparently associated with a stable decrease in the concentration of copper, which is a necessary component of the structural organization of ApoB. The content of albumin and C-reactive protein decreased while the content of total remained unchanged. With an increased level of calcium, which may be associated with dissimilation processes in bone tissue, the content of its antagonists, magnesium and phosphorus, in the blood decreased.

In the period from the 124th to the 250th day of isolation, multidirectional changes in the values of the listed indicators were observed, but for the most part, they occurred at a level below the background, which reflects a general decrease in the intensity of metabolic processes in the subjects' bodies.

Signs of stabilization were noted in the period from 250 to 355 days of isolation, which may indicate the formation of a new level of homeostasis, lowered relative to the initial one. Reaching this level was accompanied by the activation of dissimilation processes in the body: starting from day 124, the content of phospholipids, as the most easily exchanged components of biomembranes and released into the bloodstream during their elimination, steadily increased, and by day 250, the level of uric acid as a metabolite of nucleic acid metabolism increased sharply. At the same time, the values of renal function indicators - creatinine, urea, and cystatin C - did not significantly change. Confirmation of the stability of the new homeostatic level may be the failure to reach the range of initial values for the majority of the studied indices on the fifth day of the recovery period.

Despite the regular modeling of stress-producing abnormal situations during the experiment, they did not have a noticeable effect on the metabolic reactions of the subjects, which was confirmed by the dynamics of the main energy substrates used by the body during the development of the stress reaction: The glucose concentration during all examination periods was lower than the initial one, and the content of triglycerides and non-esterified fatty acids did not significantly change.

Conclusion. The dynamics of biochemical parameters during the experiment with 366-day isolation in a hermetic volume showed a stable decrease in the intensity of a number of metabolic reactions in the subjects' bodies as the duration of isolation increased. The intensity of metabolism in the myocardium, muscle tissue, liver, pancreas, and, according to indirect indicators, in bone tissue decreased. In the second half of the experiment,

the process of dissimilation took on a systemic character, and its signs, starting from the 250th day of isolation, were observed in a number of metabolic links and in the metabolism of organs and tissues. On the 5th day of the recovery period, changes in most of the studied parameters remained. Shifts of this kind may reflect the formation of a new, altered level of homeostasis, characterized by a lower intensity of metabolism, corresponding to the peculiarities of the conditions of the environment.

The work was carried out within the framework of the RAS topic FMFR-2024-0039.

БЛИЖНЕПОЛЬНОЕ РЕЗОНАНСНОЕ СВЧ-ЗОНДИРОВАНИЕ: ОТ КОСМИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ К БИОМЕДИЦИНСКИМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Мартусевич А.К.[1, 2], Назаров В.В.[2], Бадянова В.С.[1]

[1]Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л.Я. Флорентьева, Нижний Новгород, Россия
[2]Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

cryst-mart@yandex.ru

Изучение диэлектрических свойств биологических объектов производится уже на протяжении более чем полувека, однако за этот период как методическое обеспечение технологии, так и физиологические и патологические нормативы для различных состояний остаются дискутабельными. Наибольшее распространение в биомедицинских исследованиях получили методы активного СВЧ-зондирования, основанные на различных физических принципах считывания и обработки сигнала. Одним из вариантов реализации изучаемой диагностической технологии является ближнепольный принцип зондирования, который позволяет интегрально оценивать диэлектрические характеристики подповерхностных структур на глубине, соответствующей расстоянию между генерирующей и принимающей частями аппликатора. Модификация данного параметра позволяет не только получать данные об интегральных диэлектрических свойствах биообъекта, но и, при наличии полноценного аппарата обработки первичной информации, осуществлять его томографическое исследование.

В настоящее время большинство экспериментальных и клинических работ в рассматриваемой области ориентированы на анализ структур биологического объекта по интегральным показателям – диэлектрической проницаемости и проводимости. Следует отметить, что подавляющая часть публикаций по данной тематике выполнена без использования томографического подхода. Также авторами применяется широкий спектр СВЧ-антенн, работающих на частотах в диапазоне 1 МГц –30 ТГц. При этом установлено, что для различных типов тканей необходимо использование специфичных частот внутри указанного диапазона. Кроме того, визуализация отдельных структур либо патологических образований в ряде случаев детерминирует выбор особых зондирующих частот. В то же время принципиально возможно выделение универсального диапазона частот, на которых допустима оценка диэлектрических свойств различных органов и тканей, а также реальных биологических объектов, представляющих собой комбинацию гетерогенных по проницаемости и проводимости компонентов. Полученные нами данные позволяют говорить об информативности подобного подхода.

Примером подобного применения является создание технологии СВЧ-диагностики мастита. Известно, что уровень гидратации биологических тканей может быть интегрально определен по ее диэлектрическим параметрам. Это в полной мере касается и молочной железы, обладающей способностью к быстрому изменению уровня жидкости как в альвеолярно-цистернальной системе, так и в клетках и интерстиции.

Исследование было выполнено на животных ряда хозяйств Нижегородской и Кировской областей. Всего было обследовано 269 половозрелых коров, 185 из которых были здоровыми, 53 особи имели субклинический мастит, а 31 – клинический манифестировавшую форму заболевания. Обследование животных производили однократно, путем инструментального анализа диэлектрических параметров тканей каждой доли вымени животного. Изучение осуществляли с использованием программно-аппаратного комплекса собственной конструкции, позволяющего оценивать диэлектрическую проницаемость биологического объекта методом ближнепольного резонансного СВЧ-зондирования. Для зондирования использовали резонансную частоту 740 МГц, глубина зондирования составила 20 мм. Программное обеспечение комплекса позволяло рассчитывать основной интегральный параметр анализируемой ткани – ее диэлектрическую проницаемость. Перед выполнением исследования предварительная подготовка изучаемого участка кожи не производилась, кроме случаев наличия инородным частиц на ней.

Проведенное на достаточно большой выборке здоровых животных (n = 185) исследование позволило сформировать физиологический «паттерн» диэлектрической проницаемости кожи и подкожных тканей вымени на суммарной глубине 20 мм, которая составила 82,14 ± 1,62 усл.ед.

Исходя из патогенетических механизмов развития и прогрессирования мастита как воспалительной реакции, в пораженной доле молочной железы формируется отек, что существенно повышает степень гидратации тканей. Этот параметр и регистрируется с помощью ближнепольного СВЧ-зондирования, коррелируя с диэлектрической проницаемостью объекта. С указанных позиций, логичным представляется выявление повышенного уровня диэлектрической проницаемости как при субклиническом, так и при манифестирующем вариантах заболевания. При этом выраженность отечного синдрома значительно выше при клинически выявляемом течении мастита, чем при субклиническом, о чем свидетельствует более существенное нарастание изучаемого параметра (+12,4 % против +26,9 % соответственно; $p < 0,05$ для обоих случаев).

Кроме того, следует отметить, что более выраженное накопление жидкости при клинически манифестировавшем варианте заболевания по сравнению с субклиническим подтверждается наличием статистически значимых различий диэлектрической проницаемости (в 1,13 раза выше при первом варианте; $p < 0,05$). Это позволяет положительно характеризовать чувствительность изучаемого метода в диагностике мастит-индуцированного отека тканей вымени.

В результате проведенного обширного исследования нами был впервые сформирован физиологический «паттерн» диэлектрической проницаемости кожи и тканей молочной железы активно лактирующих коров, учитывающий особенности морфологической структуры вымени на существенной глубине подповерхностного зондирования (20 мм). Установлено, что присутствие очага воспаления (как в форме субклинического, так и манифестирующего мастита) приводит к значительному повышению диэлектрической проницаемости (на 12,4 и 26,9 % соответственно). При этом у здоровых коров уровень гидратации тканей различных долей вымени практически однороден.

Заключение. Таким образом, в целом, на основании многолетних собственных исследований и анализа данных литературы показана диагностическая ценность ближнепольного резонансного СВЧ-зондирования биологических тканей при решении разноплановых медико-биологических и ветеринарных задач.

NEAR-FIELD RESONANT MICROWAVE SENSING: FROM SPACE APPLICATIONS TO BIOMEDICAL TECHNOLOGIES

Martusevich A.K.[1, 2], Nazarov V.V.[2], Badyanova V.S.[1]

[1]Nizhny Novgorod Florentyev State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia
[2]Lobachevsky University, Nizhny Novgorod, Russia

cryst-mart@yandex.ru

The study of the dielectric properties of biological objects has been carried out for more than half a century, but during this period both the methodological support of technology and the physiological and pathological standards for various conditions remain controversial. Active microwave sensing methods based on various physical principles of signal reading and processing are most widely used in biomedical research. One of the options for implementing the diagnostic technology under study is the near-field sensing principle, which allows an integrated assessment of the dielectric characteristics of subsurface structures at a depth corresponding to the distance between the generating and receiving parts of the applicator. Modification of this parameter allows not only to obtain data on the integral dielectric properties of a biological object, but also, in the presence of a full-fledged primary information processing apparatus, to carry out its tomographic examination.

Currently, most experimental and clinical work in the field under consideration is focused on analyzing the structures of a biological object based on integral indicators such as dielectric constant and conductivity. It should be noted that the vast majority of publications on this topic were carried out without using a tomographic approach. The authors also use a wide range of microwave antennas operating at frequencies in the range of 1 MHz–30 THz. At the same time, it was found that for different types of tissues it is necessary to use specific frequencies within the specified range. In addition, visualization of individual structures or pathological formations in some cases determines the choice of special probing frequencies. At the same time, it is fundamentally possible to identify a universal frequency range at which it is acceptable to evaluate the dielectric properties of various organs and tissues, as well as real biological objects that are a combination of heterogeneous permeability and conductivity components. The data we have obtained suggests that this approach is informative.

An example of such an application is the creation of microwave mastitis diagnostic technology. It is known that the hydration level of biological tissues can be integrally determined by its dielectric parameters. This fully applies to the mammary gland, which has the ability to rapidly change the level of fluid in both the alveolar-cistern system, as well as in cells and the interstitium.

The study was performed on animals from a number of farms in the Nizhny Novgorod and Kirov regions. A total of 269 mature cows were examined, 185 of which were healthy, 53 individuals had subclinical mastitis, and 31 had a clinically manifested form of the disease. The animals were examined once, by instrumental analysis of the dielectric parameters of the tissues of each lobe of the udder of the animal. The study was carried out using a software and hardware complex of its own design, which makes it possible to evaluate the dielectric constant of a biological object using the method of near-field resonant microwave sensing. A resonant frequency of 740 MHz was used for sounding, and the sounding depth was 20 mm. The software of the complex made it possible to calculate the main integral parameter of the analyzed tissue – its dielectric constant. Prior to the study, no preliminary preparation of the studied skin area was performed, except in cases of the presence of foreign particles on it.

A study conducted on a fairly large sample of healthy animals (n = 185) allowed us to form a physiological «pattern» of the dielectric constant of the skin and subcutaneous udder tissues at a total depth of 20 mm, which amounted to 82.14 ± 1.62 conl.units.

Based on the pathogenetic mechanisms of development and progression of mastitis as an inflammatory reaction, edema forms in the affected lobe of the breast, which significantly increases the degree of tissue hydration. This parameter is recorded using near-field microwave sensing, correlating with the dielectric constant of the object. From these positions, it seems logical to identify an increased level of dielectric constant in both subclinical and manifest variants of the disease. At the same time, the severity of edematous syndrome is significantly higher in the clinically detectable course of mastitis than in the subclinical one, as evidenced by a more significant increase in the studied parameter (+12.4% versus +26.9 %, respectively; $p < 0.05$ for both cases).

In addition, it should be noted that a more pronounced accumulation of fluid in the clinically manifested variant of the disease compared with the subclinical one is confirmed by the presence of statistically significant differences in dielectric constant (1.13 times higher in the first variant; $p < 0.05$). This allows us to positively characterize the sensitivity of the studied method in the diagnosis of mastitis-induced edema of udder tissues.

As a result of our extensive research, we have for the first time formed a physiological «pattern» of the dielectric constant of the skin and breast tissues of actively lactating cows, taking into account the features of the morphological structure of the udder at a significant depth of subsurface sounding (20 mm). It was found that the presence of a focus of inflammation (both in the form of subclinical and manifesting mastitis) leads to a significant increase in dielectric constant (by 12.4 and 26.9 %, respectively). At the same time, in healthy cows, the hydration level of the tissues of the various udder lobes is almost uniform.

Conclusion. Thus, in general, based on many years of our own research and analysis of literature data, the diagnostic value of near-field resonant microwave sensing of biological tissues in solving diverse biomedical and veterinary tasks has been shown.

АНАЛИЗ СИСТЕМНЫХ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ЛОКАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ГЕЛИЕВОЙ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ

Мартусевич А.К.[1, 2], Назаров В.В.[2], Суровегина А.В.[1], Бадянова В.С.[1], Тащилин К.М.[1], Реснянская В.В.[1]

[1]Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л.Я. Флорентьева, Нижний Новгород, Россия
[2]Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

cryst-mart@yandex.ru

В настоящее время отмечается возрастание интереса как отечественных, так и зарубежных исследователей к применению холодной плазмы в медицине. В первую очередь этот интерес основан на продемонстрированной экспериментально и клинически антибактериальной активности холодной плазмы. С другой стороны, многие аспекты плазменной медицины остаются нераскрытыми. Так, слабо изучены общие механизмы действия холодной плазмы на биологические объекты, неизвестны и молекулярные мишени противомикробного и других эффектов. Представленные в литературе сведения о целесообразности применения холодной плазмы носят преимущественно эмпирический и феноменологический характер, не раскрывая механизмов ее влияния на организм человека и животных, а также бактериальные клетки.

В наших предшествующих работах было показано, что в условиях in vitro гелиевая холодная плазма модифицирует свободнорадикальные процессы и кристаллогенные свойства плазмы крови человека. Установлено, что изучаемый агент для образцов биосреды служит антиоксидантным фактором, а также умеренно стимулирует ее дегидратационную структуризацию. Следовательно, представляется необходимым оценить влияние холодной плазмы на указанные параметры крови in vivo. В связи с этим, целью исследования явилось изучение действия холодной гелиевой плазмы на параметры окислительного метаболизма и кристаллогенную активность плазмы крови крыс.

Материал и методы. Эксперимент выполнен на 20 половозрелых крысах-самцах линии Вистар (масса тела – 200–250 г.), разделенных на 2 группы. Первая (контрольная) группа животных (n = 10) была интактной, с ними не проводили никаких манипуляций, кроме однократного получения образцов крови. Животным второй (основной) группы (n = 10) поводили курс, включавший 10 ежедневных процедур обработки предварительно эпилированного участка кожи спины (площадь – 10 % поверхности тела) потоком гелиевой холодной плазмы. Продолжительность каждой процедуры составляла 1 мин. Расстояние от края «плазменного факела» равнялось 1,0-1,5 см. Конструктивные характеристики генератора предполагали регулирование параметров образуемой холодной плазмы с учетом особенностей обработываемой поверхности.

Получение холодной плазмы производили с помощью специальной установки, использующей принцип ВЧ-индуцированной ионизации газового потока. Прибор генерирует низкотемпературную холодную плазму атмосферного давления в среде инертного газа (гелий, аргон, неон, криптон) с температурой 30–45 градусов Цельсия. В качестве газа-носителя плазмы использовали баллонный гелий марки А.

В плазме крови крыс обеих групп методом Fe-индуцированной биохемилюминесценции определяли максимальную фотовспышку хемилюминесценции (Imax), рассматриваемую в качестве критерия интенсивности перекисного окисления липидов, и параметр, обратный светосумме хемилюминесценции (1/S) и зависящий от количества свободных радикалов в анализируемой среде и общей антиоксидантной активности плазмы крови. Измерения проводили на аппарате БХЛ-06 (фирма «Медозонс», Нижний Новгород). Уровень малонового диальдегида (МДА) в плазме крови оценивали по методу В.Г. Сидоркина, И.А. Чулошниковой (1993). Активность супероксиддисмутазы (СОД) оценивали по Т.В. Сироте (1999).

Для проведения кристаллоскопического исследования плазму крови в объеме 100 мкл. наносили на предметное стекло и приготавливали микропрепараты высушенной биологической жидкости в соответствии с методом кристаллоскопии, позволяющим оценивать собственную кристаллогенную активность биосреды. Высушенные микропрепараты оценивали морфологически и визуаметрически. Основными визуаметрическими показателями, оцениваемыми в балльной шкале, служили кристаллизуемость, индекс структурности, степень деструкции фации и выраженность краевой зоны микропрепарата.

Результаты. Установлено, что курс ежедневной обработки участка кожи спины крыс гелиевой холодной плазмой способствует модификации состояния плазмы крови животных. Так, существенные сдвиги были зарегистрированы в отношении параметров окислительного метаболизма биожидкости. В частности, изучаемое воздействие обеспечивает умеренную стимуляцию процессов липопероксидации, о чем свидетельствует увеличение максимальной фотовспышки биохемилюминесценции на 36,5 % ($p < 0,05$). В то же время уровень общей антиоксидантной активности плазмы возрастает более выраженно (на 41,6 %; $p < 0,05$). В совокупности подобные изменения свидетельствуют об антиоксидантном действии холодной гелиевой плазмы.

Эта тенденция полностью подтверждается и на основании оценки других параметров, характеризующих состояние окислительного метаболизма. Так, у животных основной группы отмечали снижение концентрации в плазме вторичного продукта перекисного окисления липидов – малонового диальдегида (на 31,7 %; $p < 0,05$). Это косвенно указывает на снижение темпов данного процесса. Кроме того, по завершении курса воздействия холодной плазмой регистрировали умеренную активацию супероксиддисмутазы, каталитическая активность которой возрастала на 42,0 % по сравнению с интактными крысами ($p < 0,05$). Подобная динамика позволяет заключить, что изучаемый фактор может рассматриваться в качестве стимулятора антиоксидантной системы плазмы крови.

Вторым компонентом оценки биологических эффектов гелиевой холодной плазмы явилось изучение ее влияния на кристаллогенную активности плазмы крови крыс. Выявлено, что рассматриваемое воздействие обеспечивает усиление кристаллогенной активности биологической жидкости. Это реализуется в параллельном повышении кристаллизуемости (в 2,07 раза относительно интактных животных; $p < 0,05$) и индекса структурности (на 48,4 %; $p < 0,05$), отражающих плотность кристаллических элементов и сложность их структуропостроения соответственно.

В то же время изучаемое воздействие способствует повышению степени деструкции фации в микропрепаратах высушенной плазмы крови в 2,1 раза ($p < 0,05$), однако, с учетом того, что значение параметра

у всех крыс основной группы не превышает 1,5 балла, указанные сдвиги остаются в пределах адаптационных. В совокупности с умеренным (на 38,3 % по сравнению с уровнем, характерным для интактных животных; $p < 0,05$) сужением краевой белковой зоны фаций биосреды это потенциально указывает на трансформацию органо-минерального состава биожидкости и количественного соотношения ее отдельных компонентов.

Заключение. Таким образом, холодная гелиевая плазма направленно трансформирует окислительный метаболизм плазмы крови и ее кристаллогенные свойства, выступая в качестве агента с умеренными антиоксидантными свойствами и стимулятора дегидратационной структуризации. При этом антиоксидантный эффект реализуется в том числе за счет активации супероксиддисмутазы.

ANALYSIS OF SYSTEMIC METABOLIC EFFECTS OF LOCAL APPLICATION OF COLD HELIUM PLASMA

Martusevich A.K.[1, 2], Nazarov V.V.[2], Surovegina A.V.[1], Badyanova V.S.[1], Tashilin K.M.[1], Resnyanskaya V.V.[1]

[1]Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.Ya. Florentyev, Nizhny Novgorod, Russia
[2]Lobachevsky University, Nizhny Novgorod, Russia

cryst-mart@yandex.ru

Currently, there is an increasing interest of both domestic and foreign researchers in the use of cold plasma in medicine. This interest is primarily based on the experimentally and clinically demonstrated antibacterial activity of cold plasma. On the other hand, many aspects of plasma medicine remain undisclosed. Thus, the general mechanisms of action of cold plasma on biological objects have been poorly studied, and the molecular targets of antimicrobial and other effects are unknown. The information presented in the literature on the expediency of using cold plasma is mainly empirical and phenomenological in nature, without revealing the mechanisms of its effect on the human and animal body, as well as bacterial cells.

In our previous work, it was shown that in vitro helium cold plasma modifies free radical processes and crystallogenic properties of human blood plasma. It has been established that the agent under study serves as an antioxidant factor for samples of the biological environment, and also modestly stimulates its dehydration structuring. Therefore, it seems necessary to evaluate the effect of cold plasma on these blood parameters in vivo. In this regard, the aim of the study was to study the effect of cold helium plasma on the parameters of oxidative metabolism and the crystallogenic activity of rat blood plasma.

Material and methods

The experiment was performed on 20 sexually mature male Wistar rats (body weight – 200–250 g), divided into 2 groups. The first (control) group of animals (n = 10) was intact, and no manipulations were performed with them, except for a single blood sample collection. The animals of the second (main) group (n = 10) underwent a course that included 10 daily procedures for treating a pre–epilated area of the back skin (area – 10% of the body surface) with a stream of cold helium plasma. The duration of each procedure was 1 min. The distance from the edge of the «plasma torch» was 1.0–1.5 cm. The design characteristics of the generator assumed the regulation of the parameters of the formed cold plasma, taking into account the characteristics of the treated surface.

Cold plasma was produced using a special installation using the principle of RF-induced ionization of the gas stream. The device generates a low-temperature cold plasma of atmospheric pressure in an inert gas environment (helium, argon, neon, krypton) with a temperature of 30–45 degrees Celsius. Bottled helium grade A was used as the plasma carrier gas.

The maximum chemiluminescence flash (Imax), considered as a criterion for the intensity of lipid peroxidation, and the parameter inverse to the chemiluminescence light sum (1/S), depending on the amount of free radicals in the analyzed medium and the total antioxidant activity of the blood plasma, were determined in the blood plasma of rats of both groups by Fe-induced biochemiluminescence. The measurements were carried out on a BHL-06 device (Medozons company, Nizhny Novgorod). The level of malonic dialdehyde (MDA) in blood plasma was assessed by the method of V.G. Sidorkina, I.A. Chuloshnikova (1993). The activity of superoxide dismutase (SOD) was evaluated by T.V. Sirota (1999).

To carry out a crystalloscopic study, blood plasma in a volume of 100 μl was applied to a slide and micro-preparations of dried biological fluid were prepared in accordance with the crystalloscopy method, which makes it possible to evaluate the intrinsic crystallogenic activity of the biological medium. The dried micro-preparations were evaluated morphologically and visuometrically. The main visuometric indicators evaluated on a point scale were crystallizability, the structure index, the facia destruction degree and the clearity of the marginal zone of the micropreparation.

Results. It was found that the course of daily treatment of the skin area of the back of rats with helium cold plasma contributes to the modification of the blood plasma of animals. Thus, significant shifts were recorded in relation to the parameters of the oxidative metabolism of biofluid. In particular, the studied effect provides moderate stimulation of lipoperoxidation processes, as evidenced by an increase in the maximum flash of biochemiluminescence by 36.5 % ($p < 0.05$). At the same time, the level of total antioxidant activity in plasma increases more markedly (by 41.6 %; $p < 0.05$). Taken together, such changes indicate the antioxidant effect of cold helium plasma.

This trend is fully confirmed based on the assessment of other parameters characterizing the state of oxidative metabolism. Thus, in animals of the main group, a decrease in plasma concentration of the secondary product of lipid peroxidation, malondialdehyde, was noted (by 31.7 %; $p < 0.05$). This indirectly indicates a decrease in the pace of this process. In addition, at the end of the course of exposure to cold plasma, moderate activation of superoxide dismutase was recorded, the catalytic activity of which increased by 42.0 % compared with intact rats ($p < 0.05$). Such dynamics allows us to conclude that the studied factor can be considered as a stimulator of the antioxidant system of blood plasma.

The second component of the assessment of the biological effects of cold helium plasma was the study of its effect on the crystallogenic activity of rat blood plasma. It was revealed that the considered effect provides an increase in the crystallogenic activity of the biological fluid. This is realized in a parallel increase in crystallizability (by 2.07 times relative to intact animals; $p < 0.05$) and the structure index (by 48.4 %; $p < 0.05$), reflecting the density of crystalline elements and the complexity of their structure, respectively.

At the same time, the studied effect contributes to an increase in the degree of facies destruction in micropreparations of dried blood plasma by 2.1 times ($p < 0.05$), however, taking into account the fact that the parameter value in all rats of the main group does not exceed 1.5 points, these shifts remain within the adaptive limits. Together with a moderate (by 38.3 % compared to the level typical for intact animals; $p < 0.05$) narrowing of the marginal protein zone of the facias of the biological environment, this potentially indicates a transformation of the organo-mineral composition of the biofluid and the quantitative ratio of its individual components.

Conclusion. Thus, cold helium plasma directionally transforms the oxidative metabolism of blood plasma and its crystallogenic properties, acting as an agent with moderate antioxidant properties and a stimulant of dehydration structuring. In this case, the antioxidant effect is realized, among other things, by activating superoxide dismutase.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПРЕССИИ БЕЛКОВ ТЕПЛОВОГО ШОКА В МЕГАКАРИОЦИТАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАННОЙ МИКРОГРАВИТАЦИИ

Марченкова А.В., Метёлкин А.А., Попов М.А., Сергеева Е.А., Соколовская А.А.

Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии, Москва, Россия

marchenkova_13_00@mail.ru

Исследования в условиях микрогравитации являются важной частью космической биологии и физиологии человека, а в последнее время они также используются как уникальная платформа для разработки лекарств и клеточной терапии. Моделированная микрогравитация может изменять чувствительность раковых клеток к химиотерапии, потенциально влияя на метастазирование рака. Белки теплового шока (HSP) могут служить биомаркерами для оценки клеточного стресса в клетках и тканях, подвергшихся воздействию микрогравитации, однако их роль до конца не изучена. Для изучения влияния микрогравитации на клетки мы использовали настольный Random Positioning Machine (RPM) для моделирования условий невесомости. Наши предыдущие исследования показали, что моделированная микрогравитация подавляет пролиферацию клеток, индуцирует апоптоз и изменяет морфологию и экспрессию поверхностных маркеров клеток MEG-01. Согласно полученным данным, основные изменения в экспрессии ключевых белков апоптоза в мегакариобластных клетках в условиях моделированной микрогравитации происходили через 96 часов.

Экспрессия белков BAX и цитохрома C снижалась под воздействием доксорубицина, причем более значительное снижение наблюдалось в условиях микрогравитации и при увеличении времени экспозиции. Экспрессия BAK уменьшалась преимущественно через 96 часов в условиях RPM. Нерасщепленные каспаза 3 и BCL-XL не показали значительных изменений. Однако мы обнаружили, что лечение доксорубицином в условиях микрогравитации приводило к увеличению экспрессии HSP60 по сравнению с нормальной гравитацией. Также мы установили, что жизнеспособность клеток снижалась в микрогравитации даже после обработки доксорубицином.

В условиях моделированной микрогравитации уровни мРНК HSP60 были значительно повышены в RPM по сравнению с контрольными клетками. Эти результаты позволяют предположить, что микрогравитация действует как стрессор на клетки, приводя к увеличению экспрессии HSP60 как на уровне мРНК, так и на уровне белка. Наши данные согласуются с исследованиями экспрессии белков апоптоза в различных клетках в условиях моделированной микрогравитации.

Зависимая от микрогравитации модуляция реакции раковых клеток на химиотерапию может оказать влияние как на космическую, так и на земную медицину. Применение биотехнологий, основанное на использовании клеточных и тканевых культур, помогут нам изучить негативное влияние гравитации на здоровье и подготовиться к космическим миссиям. Полученные результаты открывают новые перспективы для разработки терапевтических стратегий, направленных на повышение эффективности химиотерапии в условиях космических полетов. Кроме того, изучение механизмов клеточного стресса в микрогравитации может помочь в создании методов защиты здоровья астронавтов во время длительных миссий.

FGFU-2025-0008.

INCREASED EXPRESSION OF HEAT SHOCK PROTEINS IN MEGAKARYOCYTES UNDER THE INFLUENCE OF DRUGS IN SIMULATED MICROGRAVITY

Marchenkova A.V., Metelkin A.A., Popov M.A., Sergeeva E.A., Sokolovskaya A.A.

Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russia

marchenkova_13_00@mail.ru

Microgravity research is an important part of space biology and human physiology, and has recently been used as a unique platform for drug discovery and cell therapy. Simulated microgravity can alter the chemoresponsiveness of cancer cells, potentially affecting cancer metastasis. Heat shock proteins (HSPs) can be used as biomarkers to assess cellular stress in cells and tissues exposed to microgravity, but our understanding of their role is still incomplete.

To investigate the effects of microgravity on cells, we used a desktop random positioning machine (RPM) to simulate microgravity conditions. Our previous studies have shown that simulated microgravity inhibits cell proliferation, induces apoptosis, and changes the morphology and expression of MEG-01 cell surface markers. According to our data, the main changes in the expression of key apoptosis proteins in megakaryoblastic cells under simulated microgravity conditions occurred after 96 hours.

The expressions of BAX and cytochrome C proteins decreased under the influence of doxorubicin, with a more significant decrease in microgravity and with longer exposure times. The expression of BAK decreased mainly after 96 hours under RPM conditions. Non-cleaved caspase 3 and BCL-XL showed no significant changes. However, we found that microgravity-induced drug treatment with doxorubicin led to increased HSP60 expression compared to normal gravity. We also found that cell viability was reduced in microgravity even after treatment with doxorubicin.

In simulated microgravity conditions, HSP60 mRNA levels were significantly increased in RPM compared to control cells. These results suggest that microgravity acts as a stressor on cells, leading to increased HSP60 expression both at the mRNA and protein levels. Our results are consistent with the study of apoptosis protein expression in different cells under simulated microgravity conditions.

The microgravity-dependent modulation of cancer cells' response to chemotherapy has the potential to impact both space and terrestrial medicine. Biotechnology applications, facilitated by the use of cell and tissue cultures, will help us understand the adverse effects of gravity on health and aid in the preparation of space missions.

The results obtained open up new prospects for the development of therapeutic strategies aimed at improving the effectiveness of chemotherapy in space flight conditions. In addition, studying the mechanisms of cellular stress in microgravity can help create methods to protect astronauts' health during long-term missions.

FGFU-2025-0008.

ИЗМЕНЕНИЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА СЕРДЦА И МЕТАБОЛИЗМА ДОБРОВОЛЬЦА В ХОДЕ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА ВО ВРЕМЯ ГОДОВОГО ИЗОЛЯЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Мельников И.И.[1], Лемешко Е.В.[1], Губкин С.В.[1], Фомина Е.В.[2], Романов П.В.[2], Буракова А.А.[2], Ганичева А.А.[2], Сенаторова Н.А.[2], Бахтерева В.Д.[2], Кокуева М.А.[2]

[1]Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
[2]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

iflemeshko@gmail.com

Способность организма своевременно переключаться между аэробным и анаэробным путями энергообеспечения при повышающейся мышечной нагрузке является важнейшим фактором тренированности и общего здоровья. Ключевой момент такой перестройки (порог анаэробного обмена) оценивают с помощью газоанализа, позволяющего отслеживать динамику дыхательных и энергетических процессов. При этом анализ вариабельности ритма сердца (ВРС) представляет независимый и информативный подход к оценке функционального состояния и адаптационных возможностей организма.

В исследовании в рамках международного научного проекта с 12-месячной изоляцией SIRIUS 2023 каждому из участников предлагали выполнить велоэргометрический протокол, включающий 4 фазы: Rest (покой), Warmup (разминка), Exercise (ступенчатая нагрузка), Recovery (восстановление). За 1 год каждый доброволец 1 раз в месяц выполнял описанный выше протокол на велоэргометре Ergoselect (Ergoline GmbH, Germany). Сосредоточили внимание на том, какие именно показатели ВРС в фазе покоя дают наиболее высокую корреляцию с моментами 2 событий, отражающих переход к анаэробному метаболизму:

1. TTMax – время максимальной «аэробной компенсации».
2. TTZero – время пересечения нуля масштабированным респираторным коэффициентом (Ratio).

Запись ЭКГ осуществляли с помощью кардиорегистратора, разработанного в Институте физиологии НАН Беларуси. Он представляет собой компактное носимое устройство, в действующем состоянии расположенное на передней части грудной клетки на ремне. Информация из кардиорегистратора в режиме реального времени поступала на планшет исследователя, а оттуда – на персональный компьютер исследователя в режиме off-line для детальной обработки.

Регистрацию спирометрических данных осуществляли с помощью газоанализатора Ergostik (ООО «Нейрософт», Россия), синхронизированного с кардиорегистратором.

К данным из кардиорегистратора применяли:

1. расчет временных показателей: SDNN (мс), RMSSD (мс), pNN50 (%);
2. спектральный анализ для получения в т. ч.: LF (мс²), HF (мс²), LF/Total и HF/Total.

Отдельно фиксировали среднюю частоту сердечных сокращений (ЧСС) для каждой фазы:

1. HR – как отношение времени фазы к количеству RR-интервалов;
2. HR_alt – аналогично рассчитываемый из средней длительности RR-интервала в данной фазе.

Дополнительно рассчитывали абсолютные амплитуды зубцов P, R, T, их отношения, параметры фрактальности и т. д.

Для анализа дыхательных и метаболических реакций регистрировали: VO_2 (л/мин), VCO_2 (л/мин); VE/VO_2 и VE/VCO_2 (вентиляционные отношения).

Затем вычисляли значения:

1. Difference – разность (VE/VO2–VE/VCO2)*10/HR – (VCO2–VO2)/HR (интегральный показатель аэробной компенсации) с последующим сглаживанием;
2. Ratio = $15\times(VCO_2/VO_2) - 15$ (сглаженное скользящим средним).

По кривым Difference и Ratio определяли:

1. TTMax – время, когда сглаженная кривая Difference достигает максимума (условно соответствует пику «аэробной компенсации»);
2. TTZero – время, когда линия тренда для кривой Ratio в ходе теста пересекает нулевой уровень (индикатор сдвига к анаэробной зоне).

Для выявления прогностических показателей вычисляли коэффициенты корреляции Пирсона (r) между рядом параметров в 2 рассматриваемых фазах (например, RMSSD_rest и TTMax, LF_rest и TTZero). Статистически значимыми считали корреляции при $p<0,05$. Кроме того, осуществляли их индивидуальный анализ, что позволило оценить персонализированные паттерны.

Установили, что наряду с ожидаемой взаимосвязью между параметрами ЧСС и частотными и временными показателями ВРС, напрямую зависящими от ЧСС, интересны взаимосвязи между различными ампли-

тудными и спектральными показателями ЭКГ с временными. Так, отношение амплитуд зубцов R и T в фазе покоя имеют корреляции равные соответственно -0,4 и 0,5 с модами расстояний между максимумом зубца P и зубцом Q и зубцом Q и максимумом зубца T в фазе разминки, а также мода длительности PQ-интервала в фазе разминки имеет корреляцию 0,66 с LF/HF, полученных в фазе покоя.

Выявили, что более высокая ВРС в покое коррелирует с «отсрочкой» наступления пика аэробной компенсации и переходом к анаэробным механизмам. При этом ЧСС в покое, хотя и показывает определенную тенденцию, дает меньшие по величине корреляции. Полученные результаты для всех участников иллюстрируют ряд согласованных тенденций, в т. ч. для параметров, показывающих более низкую, нежели перечисленные выше, но тем не менее значимую связь. Обращают на себя внимание низкие коэффициенты корреляции относительных спектральных (например, VLF/HF_Rest или HF/Total_Rest имеют значения ниже 0,1), некоторых частотных и амплитудных показателей (например, значение SDNN имеет корреляцию меньше 0,39 с TTMax при корреляции с LF_Rest 0,48).

Установили сохранение общих тенденций для всех участников в части корреляций со спектральным параметром LF (при анализе только параметров фазы покоя, поэтому здесь и далее постфикс _Rest опускаем). Наблюдали сохранение тех же тенденций, которые выявили на обобщенных данных для участников с номерами 2, 4 и 6 в части параметров RMSSD и pNN50, однако для участника 1 данная тенденция не выполнялась.

Определили, что ЧСС в покое не всегда отражает полноту вегетативных возможностей. Коэффициенты корреляции, полученные между ЧСС в покое и TTMax/TTZero (r≈0,35-0,40), были статистически значимыми, но не такими как у RMSSD, LF/Total и pNN50. Т. е. человек может иметь относительно невысокую ЧСС в покое, но при этом не обладать достаточными резервами быстрой адаптации к нагрузке, и наоборот – высокий уровень ВРС при умеренной ЧСС в покое может указывать на должное состояние механизмов вегетативной регуляции.

Проведенное исследование дополнительно подтверждает, что LF в покое тесно связана с TTMax. В то же время pNN50, характеризующий долю быстрых колебаний ритма, коррелировал с TTZero, что косвенно указывает на роль парасимпатического контура в критической точке переключения на анаэробную зону.

Таким образом, комплексная оценка ВРС в состоянии покоя должна занять более важное место в тестовых протоколах при определении анаэробного порога, а ЧСС в покое целесообразно использовать как дополнительный индикатор, требующий подтверждения через более детальный анализ вегетативных показателей, что соответствует представлениям о ВРС как об универсальном предикторе функционального состояния организма, адаптированном к медицинской практике и к научным исследованиям физических нагрузок, изложенным в трудах Р.М. Баевского.

11.3.05.1.3 и FMFR-2024-0037.

CHANGES IN HEART RATE VARIABILITY AND METABOLISM OF A VOLUNTEER DURING THE TRAINING PROCESS DURING A ONE-YEAR ISOLATION EXPERIMENT

Melnikov I.I.[1], Lemeshko Y.V.[1], Goubkin S.V.[1], Fomina E.V.[2], Romanov P.V.[2], Burakova A.A.[2], Ganicheva A.A.[2], Senatorova N.A.[2], Bakhtereva V.D.[2], Kokueva M.A.[2]

[1]Institute of Physiology of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
[2]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

iflemeshko@gmail.com

The body's ability to switch between aerobic and anaerobic energy supply pathways in a timely manner with increasing muscle load is a critical factor in fitness and overall health. The key moment of such a restructuring (the threshold of anaerobic metabolism) is assessed using gas analysis, which allows tracking the dynamics of respiratory and energy processes. At the same time, the analysis of heart rate variability (HRV) represents an independent and informative approach to assessing the functional state and adaptive capabilities of the body.

In a study within the framework of the international scientific project with a 12-month isolation SIRIUS 2023, each of the participants was asked to complete a bicycle ergometric protocol, including 4 phases: Rest, Warmup, Exercise, Recovery. For 1 year, each volunteer performed the protocol described above on an Ergoselect bicycle ergometer once a month (Ergoline GmbH, Germany). We focused on which specific HRV parameters in the resting phase provide the highest correlation with the moments of 2 events reflecting the transition to anaerobic metabolism:

1. TTMax – time of maximum «aerobic compensation».
2. TTZero – scaled respiratory quotient zero crossing time (Ratio).

The ECG recording was carried out using a cardiac recorder developed at the Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of Belarus. It is a compact wearable device that, when in use, is located on the front of the chest on a belt. Information from the cardiac recorder was sent in real time to the researcher's tablet, and from there to the researcher's personal computer in off-line mode for detailed processing.

Spirometry data were recorded using an Ergostik gas analyzer (Neurosoft, Russia), synchronized with a cardiac recorder.

The data from the cardiac recorder was used:

1. calculation of time demand indicators: SDNN (ms), RMSSD (ms), pNN50 (%);
2. frequency demand analysis to obtain, among other things: LF (ms^2), HF (ms^2), LF/Total и HF/Total.

The average heart rate (HR) was recorded separately for each phase:

1. HR – as the ratio of the phase time to the number of RR intervals;
2. HR_alt – similarly calculated from the average duration of the RR interval in a given phase.

Additionally, absolute amplitudes of the P, R, T waves, their ratios, fractality parameters, etc. were calculated.

To analyze respiratory and metabolic reactions, we recorded: VO_2 (l/min), VCO_2 (l/min); VE/VO_2 and VE/VCO_2 (ventilation rations).

Then the values were calculated:

1. Difference – difference (VE/VO2–VE/VCO2)*10/HR – (VCO2–VO2)/HR (integral indicator of aerobic compensation) with subsequent smoothing;
2. Ratio = $15 \times (VCO_2/VO_2) - 15$ (smoothed by moving average).

The Difference and Ratio curves were used to determine:

1. TTMax – time, when the smoothed Difference curve reaches its maximum (conditionally corresponds to the peak of «aerobic compensation»);
2. TTZero – time, when the trend line for the Ratio curve during the test crosses the zero level (an indicator of a shift to the anaerobic zone).

To identify prognostic indicators, Pearson correlation coefficients (r) were calculated between a number of parameters in the 2 phases under consideration (for example, RMSSD_rest and TTMax, LF_rest and TTZero). Correlations were considered statistically significant at $p < 0,05$. In addition, they were analyzed individually, which allowed us to evaluate personalized patterns.

It was established that, along with the expected relationship between the parameters of the HR and the frequency and time demand indicators of the HRV, which directly depend on the HR, the relationships between various amplitude and spectral indicators of the ECG with time demand indicators are of interest. Thus, the ratio of the amplitudes of the R and T waves in the resting phase have correlations equal to -0.4 and 0.5, respectively, with the modes of the distances between the maximum of the P wave and the Q wave and the Q wave and the maximum of the T wave in the warm-up phase, and the mode of the duration of the PQ interval in the warm-up phase has a correlation of 0.66 with LF/HF obtained in the resting phase.

It was found that higher HRV at rest correlates with a "delay" in the onset of the peak of aerobic compensation and the transition to anaerobic mechanisms. At the same time, the HR at rest, although it shows a certain tendency, gives smaller correlations. The results obtained for all participants illustrate a number of consistent trends, including for parameters showing a lower, but nonetheless significant, relationship than those listed above. Noteworthy are the low correlation coefficients of relative spectral (for example, VLF/HF_Rest or HF/Total_Rest have values below 0,1), some frequency and amplitude indicators (for example, the SDNN value has a correlation of less than 0,39 with TTMax with a correlation of 0,48 with LF_Rest).

We established the preservation of general trends for all participants in terms of correlations with the spectral parameter LF (when analyzing only the parameters of the resting phase, therefore, from here on we eliminate the postfix _Rest). We observed the same trends that were identified in the generalized data for participants 2, 4 and 6 in terms of the RMSSD and pNN50 parameters, but for participant 1 this trend was not observed.

It was determined that the HR at rest does not always reflect the fullness of vegetative capabilities. The correlation coefficients obtained between HR at rest and TTMax/TTZero ($r \approx 0,35\text{-}0,40$) were statistically significant, but not as significant as those of RMSSD, LF/Total and pNN50. That is, a person may have a relatively low HR at rest, but at the same time not have sufficient reserves for rapid adaptation to the load, and vice versa – a high level of HRV with a moderate HR at rest may indicate the proper state of the mechanisms of vegetative regulation.

The study further confirms that LF at rest is closely related to TTMax. At the same time, pNN50, which characterizes the proportion of fast rhythm oscillations, correlated with TTZero, which indirectly indicates the role of the parasympathetic circuit at the critical point of switching to the anaerobic zone.

Thus, a comprehensive assessment of the HRV at rest should take a more important place in test protocols when determining the anaerobic threshold, and it is advisable to use the HR at rest as an additional indicator that requires confirmation through a more detailed analysis of vegetative indicators, which corresponds to the concept of HRV as a universal predictor of the functional state of the body, adapted to medical practice and to scientific research on physical activity, as outlined in the works of R.M. Baevsky.

ОЦЕНКА ФУНКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ В УСЛОВИЯХ 365-СУТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ГЕРМООБЪЕКТЕ

Михайловская А.Н.[1], Астафьева С.Н.[1], Дьяченко А.И.[1], Костив А.Е.[2]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

[2]Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

a10351@ya.ru

В условиях изоляции на человека действуют факторы, которые могут негативно влиять на респираторную функцию. В первую очередь это снижение физической активности при пребывании в гермообъекте. С увеличением сроков изоляции данный фактор становится все более значимым. В изоляционных экспериментах реализуется система физических тренировок, которая препятствует нежелательным изменениям, связанным с общим снижением физической активности, однако положительный эффект в значительной степени зависит от вовлеченности и мотивации испытуемых. Параметры среды гермообъекта, такие как содержание CO_2, температура и влажность воздуха, поддерживаются в границах установленных нормативных величин. При этом в среднем уровень CO_2 незначительно повышен, а влажность снижена по сравнению с нормальными условиями, что может отличаться от привычных условий для конкретного испытателя.

Следовательно, динамическое наблюдение за состоянием легочной функции членов экипажа представляется обоснованным и является элементом медицинского контроля.

Целью нашей работы являлась оценка состояния внешнего дыхания во время длительного пребывания человека в условиях искусственной атмосферы и при ограниченной физической активности в гермообъекте. Задачи исследования включали: 1) проведение спирометрии; 2) регистрацию дыхательных шумов во время выполнения дыхательных маневров; 3) оценку функции внешнего дыхания по спирометрическим и акустическим данным; 4) сопоставление результатов оценки функции внешнего дыхания, полученных разными методами.

В эксперименте участвовали члены экипажа миссии SIRIUS-23, двое мужчин и четыре женщины. Оценку функции внешнего дыхания проводили с помощью стандартных спирометрических тестов и акустического метода. В рамках акустического метода регистрировали трахеальные шумы во время выполнения маневров форсированного выдоха (ФВ) и максимальной вентиляции легких (МВЛ).

Проведено 8 обследований в период изоляции, 3 фоновых обследования и два в последействии. Определяли параметры спокойного дыхания:

- частоту дыхания (ЧД), дыхательный объем (ДО), минутный объем дыхания (МОД), резервный объем вдоха (РОвд) и выдоха (РОвыд); жизненная емкость легких (ЖЕЛ);
- параметры ФВ: форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ), объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ1), ОФВ1/ФЖЕЛ, пиковая объемная скорость (ПОС), максимальная объемная скорость при выдохе 25 % ФЖЕЛ (МОС25), 50 % ФЖЕЛ (МОС50) и 75 % ФЖЕЛ (МОС75), средняя объемная скорость форсированного выдоха при выдохе 25–75 % ФЖЕЛ (СОС25-75); МВЛ.

Для маневров ФВ и МВЛ вычисляли акустические характеристики дыхательных шумов. Получены результаты спирометрии, данные по длительности трахеальных шумов во время выполнения ФВ и данные по мощности трахеальных шумов во время выполнения МВЛ.

Статистический анализ (ANOVA Фридмана) не показал ухудшения функции легких у экипажа по основным параметрам спирометрии: ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ОФВ1, ПОС, ОФВ1/ФЖЕЛ, СОС25-75. Наблюдались статистически значимые волнообразные колебания РОвд и РОвыд ($p = 0{,}001$). Причины такой динамики резервных объемов неясны. Для выяснения этих причин в будущих долговременных изоляциях целесообразно измерить общую емкость легких (ОЕЛ) и функциональную остаточную емкость (ФОЕ).

Значения МВЛ в групповой динамике членов экипажа к концу изоляции возрастали, что может быть связано с выполнением регулярных физических тренировок.

Длительность трахеальных шумов ФВ (Та) в группе достоверно увеличивалась во второй половине периода изоляции (между 5-м и 10-м месяцами). Анализ индивидуальной динамики показал существенное увеличение Та у одного из участников на 118-е, 241-е и 304-е сутки изоляции, то есть, начиная с 4-го месяца изоляции у данного испытателя наблюдались локальные эпизоды ухудшения вентиляционной функции. У другого члена команды наблюдался рост Та на 118-е стуки изоляции и после выхода из гермообъекта. При этом увеличение Та в периоде последействия отмечено у четверых членов экипажа. Спирометрические показатели бронхиальной проходимости ОФВ1, ОФВ1/ФЖЕЛ, СОС25-75 у данных испытуемых оставались в границах нормы без тенденций к снижению.

Результаты проведенных исследований говорят о необходимости проведения повторных фоновых обследований участников для определения индивидуальной вариабельности Та и соответствующей оценки надежности данного показателя для оценки нарушений вентиляционной функции. Высокая вариабельность Та может быть связана как с интенсивными свистами второй половины ФВ, так и с индивидуальными особенностями выполнения дыхательных маневров у отдельных обследуемых, что, возможно, требует более длительного обучения выполнению методики. У испытуемых, демонстрирующих нормальную естественную вариабельность Та (до 20 %), показатель может быть использован для оценки вентиляционной функции и позволяет выявить отклонения даже при нормальных результатах спирометрии.

Выявленное увеличение мощности трахеальных шумов МВЛ на 2-й и 4-й месяцы изоляции при относительно постоянном уровне легочной вентиляции указывает на усиление условий шумообразования в дыхательных путях. Усиление условий может быть вызвано искривлением и/или сужением некоторых дыхательных путей, преимущественно – крупных. Именно в эти месяцы отмечено увеличение параметра Та. Таким образом, обе акустические методики – по продолжительности шумов ФВ и по мощности шумов МВЛ указали на появление небольших изменений в дыхательных путях (обструктивного типа) на 2-й и 4-й месяцы изоляции. Акустические изменения были небольшие, спирометрические параметры не изменялись. Синхронность изменений акустических параметров показывает, что для выявления самых ранних и слабых проявлений отклонений в дыхательных путях респираторная акустика имеет перспективы.

Темы РАН 64.1 и FMFR-2024-0038.

ASSESSMENT OF THE FUNCTION OF EXTERNAL RESPIRATION IN CONDITIONS OF 365-DAY ISOLATION IN A HERMETIC FACILITY

Mikhailovskaya A.N.[1], Astafyeva S.N.[1], Dyachenko A.I.[1], Kostiv A.E.[2]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

a10351@ya.ru

In isolation, a human is exposed to factors that can negatively affect respiratory function. First of all, this is a decrease in physical activity when staying in a hermetic object. As the isolation period increases, this factor becomes more and more significant. In isolation experiments, a system of physical training is implemented that prevents undesirable changes associated with a general decrease in physical activity, but the positive effect largely depends on the involvement and motivation of the subjects. Environmental parameters of the hermetic object, such as the CO_2 content, air temperature and humidity, are maintained within the limits of the established standard values. At the same time, on average, the level of CO_2 is slightly increased, and humidity is reduced compared to normal conditions, which may differ from the usual conditions for a particular tester.

Therefore, dynamic monitoring of the state of pulmonary function of crew members seems reasonable and is an element of medical control.

The aim of our work was to assess the state of external respiration during a long human stay in an artificial atmosphere and with limited physical activity in a hermetic object. The research objectives included: 1) performing spirometry; 2) recording breathing sounds during breathing maneuvers; 3) evaluating the function of external respiration based on spirometry and acoustic data; 4) comparing the results of evaluating the function of external respiration obtained by different methods.

The experiment involved members of the crew of the SIRIUS-23 mission, two men and four women. We assessed the function of external respiration using standard spirometry tests and an acoustic method. As parts of the acoustic method, we recorded tracheal sounds during the performance of the forced expiration (FE) and maximal voluntary ventilation (MVV) maneuvers.

Our study included 8 examinations during the isolation period, 3 background examinations and two aftereffects. The parameters of calm breathing were determined:

• respiratory rate (BF), respiratory volume (VT), minute respiratory volume (MV), inspiratory reserve volume (IRV) and expiratory reserve volume (ERV); vital capacity of the lungs (VC);

• parameters of FE: forced vital capacity of the lungs (FVC), forced expiratory volume in 1 second (FEV1), FEV1/FVC, peak expiratory flow (PEF), forced expiratory flow of 25 % FVC (FEF25), 50 % FVC (FEF50) and 75 % FVC (FEF75), maximal expiratory flow of 25–75 % FVC (MEF 75/25); MVV.

The acoustic characteristics of tracheal sounds were calculated for the FE and MVV maneuvers. We present the results of spirometry, data on the duration of tracheal sounds during FE without using a spirograph, and data on the power of tracheal sounds during MVV.

Statistical analysis (Friedman's ANOVA) showed no deterioration of lung function in the crew according to the main parameters of spirometry: VC, FVC, FEV1, PEF, FEV1/FVC and MEF 75/25. Statistically significant wavelike fluctuations of the IRV and ERV were observed ($p = 0.001$). The reasons for such dynamics of reserve volumes are unclear. To find out these reasons in future long-term isolations, it is advisable to measure the total lung capacity (TLC) and functional residual capacity (FRC).

MVV values in the group dynamics of crew members increased by the end of isolation, which may be due to regular physical training.

The duration of FE tracheal murmurs in the group significantly increased in the second half of the isolation period (between the 5th and 10th months). Analysis of individual dynamics of acoustic duration of FE sounds (Ta) showed a significant increase in the duration of sounds in one of the participants on the 118th, 241st and 304th days of isolation, that is, starting from the 4th month of isolation, local episodes of deterioration of ventilation function were observed in this test subject. Another crew member showed an increase in Ta on the 118th day of insulation and after leaving the hermetic facility. At the same time, an increase in Ta in the aftereffect period was noted in four crew members. Spirometry parameters of bronchial patency FEV1, FEV1/FVC, MEF 75/25 in these subjects remained within the normal range without decreasing trends.

The results of the conducted studies indicate the need for repeated background examinations of participants to determine individual Ta variability and an appropriate assessment of the reliability of this indicator for assessing violations of ventilation function. At the same time, high Ta variability may be associated with both intense whistles of the second half of FE and individual features of performing breathing maneuvers in individual subjects, which may require longer training in the technique. In subjects who demonstrate normal natural Ta variability (up to 20%), the indicator can be used to assess ventilation function and can detect deviations even with normal spirometry results.

The revealed increase in the power of breathing sounds of MVV in the 2nd and 4th months of isolation with a relatively constant level of pulmonary ventilation indicates an increase in the conditions of sound generation in the airways. Increased conditions may be caused by curvature and/or narrowing of some airways, mainly large ones. It is during these months that the Ta parameter increases. Thus, both acoustic methods in terms of the duration of FE sounds and the power of MVV sounds indicated the appearance of small changes in the airways (obstructive type) at the 2nd and 4th months of isolation. The acoustic changes were small, and the spirometry parameters did not change. The synchronicity of acoustic techniques shows that respiratory acoustics has prospects for detecting the earliest and weakest manifestations of abnormalities in the airways.

Topics 64.1 and FMFR-2024-0038.

ИЗМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ СЕКРЕТИРУЕМЫХ БЕЛКОВ МСК ПРИ ИНДУЦИРОВАННОЙ СЕНЕСЦЕНЦИИ

Мухутдинов А.Р., Ратушный А.Ю., Каширина Д.Н.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Ayaz126@mail.ru

Мезенхимальные стромальные клетки (МСК) играют ключевую роль в поддержании гомеостаза тканей, участвуя в регуляции иммунных ответов, межклеточной коммуникации и восстановлении поврежденных структур. Благодаря способности к дифференцировке, секреции сигнальных молекул и взаимодействию с другими клеточными популяциями, МСК обеспечивают адаптацию тканей к физиологическим изменениям

и стрессовым воздействиям. Однако с возрастом или при хроническом повреждении МСК могут переходить в сенесцентное состояние, характеризующееся необратимой остановкой клеточного деления при сохранении метаболической активности. Кроме того, в ходе сенесценции происходит изменение спектра секретируемых белков, что в корне меняет паракринное воздействие МСК на клеточное микроокружение, такой измененный секреторный фенотип обозначают как SASP (senescence-associated secretory phenotype). Был смоделирован процесс индуцированного старения МСК при помощи митомицина С, и с помощью хромато-масс-спектрометрии были проанализированы изменения в составе их секретома.

Полученные данные показали, что в секретоме сенесцентных МСК значительно снижается общее количество белков по сравнению с интактными клетками, что может быть обусловлено как снижением численности клеток в культуре, так и изменением механизмов синтеза и секреции белков. Более того, качественный состав секретома также претерпевает выраженные изменения. В сенесцентных клетках увеличивается количество белков, связанных с воспалением, ремоделированием внеклеточного матрикса, регуляцией клеточного цикла и стресс-ответом. Среди них можно выделить PAI-1, GDF15, THBS1, SOCS1, а также белки везикулярного транспорта, такие как SEC22B и SURF4, что может указывать на изменения в механизмах внутриклеточной логистики и экзоцитоза.

Интерес представляет и набор белков, которые присутствовали исключительно в секретоме сенесцентных МСК. В их числе – регуляторы клеточного цикла (CUL5, HCFC1), белки деградации и посттрансляционной модификации (TPP1, PSB3), а также стресс-ассоциированные белки (TRXR1, HSP72). Эти белки могут быть частью устойчивого SASP, способствующего переходу воспаления в хроническую форму и нарушению регуляции тканевого микроокружения.

Среди белков, присутствующих преимущественно в среде интактных клеток, преобладали структурные белки внеклеточного матрикса (в частности коллагены COL1A1, COL6A2, COL6A3), адгезивные белки (VCAN, FBLN1, TENA) и регуляторы клеточного метаболизма. Кроме того, были выявлены белки, связанные с РНК- и ДНК-ассоциированными процессами, что указывает на высокую активность синтетических процессов в интактных клетках.

Кроме того, среди белков, увеличенных в секретоме сенесцентных МСК, особый интерес представляют витронектин (VTN) и филамин А (FLNA). VTN, участвующий в адгезии клеток и взаимодействии с интегринами, может оказывать как защитное действие, способствуя выживанию клеток при стрессовых воздействиях, так и провоспалительное - через модуляцию секреции цитокинов, таких как IL-6, что позволяет предполагать его роль в формировании SASP при хроническом старении. FLNA, в свою очередь, регулирует организацию актинового цитоскелета и участвует в сигнальном пути LPAR1–FLNA–MRTF-A, связываемом с индукцией клеточного старения и остановкой пролиферации, что указывает на его потенциальную вовлеченность в развитие сенесцентного фенотипа.

В целом, полученные результаты свидетельствуют о том, что индуцированное старение приводит не только к снижению общего уровня секреции, но и к выраженной трансформации состава белков, выделяемых мезенхимальными стромальными клетками. Выявленные маркеры, такие как PAI-1, GDF15, THBS1 и SOCS1, могут быть не только индикаторами сенесцентного состояния, но и потенциальными мишенями для молекулярной терапии, направленной на коррекцию SASP или предотвращение его пагубного воздействия на окружающие ткани.

Таким образом, проведенное исследование позволяет глубже понять молекулярные последствия клеточного старения для секреторной активности МСК. Это подчеркивает необходимость учета состояния клеток при их использовании в клинической практике – особенно в рамках терапии возраст-ассоциированных заболеваний.

Полученные данные расширяют представление о белковом составе SASP и позволяют выделить конкретные молекулярные цели, которые в перспективе могут быть использованы для селективной модуляции воспалительной активности стареющих клеток. Например, блокирование секреции ключевых провоспалительных белков или ингибирование определенных сигнальных каскадов может рассматриваться как подход для смягчения возрастных патологий, восстановления тканевого гомеостаза и повышения эффективности стволово-клеточной терапии.

Наша работа вносит вклад в систематизацию и биоинформатическую аннотацию сенесцентного секретома МСК, а также формирует основу для дальнейших исследований - в том числе с применением более чувствительных методов, таких как ИФА, мультиплексный анализ или иммунофлуоресценция.

Грант Российского научного фонда No 24-75-10098.

CHANGES IN THE COMPOSITION OF SECRETED PROTEINS OF MSCs DURING INDUCED SENESCENCE

Mukhutdinov A.R., Ratushnyy A.Yu., Kashirina D.N.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Ayaz126@mail.ru

Mesenchymal stromal cells (MSCs) play a key role in maintaining tissue homeostasis by participating in the regulation of immune responses, intercellular communication, and the repair of damaged structures. Through their abilities to differentiate, secrete signaling molecules, and interact with other cell populations, MSCs support tissue adaptation to physiological changes and stress conditions. However, with aging or chronic damage, MSCs may enter a senescent state characterized by irreversible cell cycle arrest while retaining metabolic activity. Senescence is also accompanied by changes in the profile of secreted proteins, fundamentally altering the paracrine influence of MSCs on the cellular microenvironment. This altered secretory profile is referred to as the senescence-associated secretory phenotype (SASP).

MSC senescence was induced using mitomycin C, and chromatography–mass spectrometry was applied to analyze changes in their secretome composition.

The results revealed a significant reduction in the total protein content in the secretome of senescent MSCs compared to intact cells. This may be due to a decreased number of viable cells in culture and altered protein synthesis and secretion mechanisms. Moreover, the qualitative composition of the secretome was markedly transformed. Senescent cells showed an increase in proteins associated with inflammation, extracellular matrix remodeling, cell cycle regulation, and stress responses. These included PAI-1, GDF15, THBS1, SOCS1, as well as vesicular transport proteins such as SEC22B and SURF4, suggesting altered intracellular trafficking and exocytosis mechanisms.

Particular interest lies in proteins found exclusively in the secretome of senescent MSCs. These included cell cycle regulators (CUL5, HCFC1), proteins involved in degradation and post-translational modifications (TPP1, PSB3), and stress-associated proteins (TRXR1, HSP72). These factors may contribute to a stable SASP that promotes chronic inflammation and disrupts tissue microenvironment regulation.

In contrast, the secretome of intact cells was enriched in structural extracellular matrix proteins (especially COL1A1, COL6A2, COL6A3), adhesion proteins (VCAN, FBLN1, TENA), and regulators of cellular metabolism. Additionally, proteins associated with RNA- and DNA-related processes were identified, indicating high synthetic activity in non-senescent cells.

Among the proteins increased in the senescent MSC secretome, vitronectin (VTN) and filamin A (FLNA) were of particular interest. VTN, which is involved in cell adhesion and integrin binding, may exert both protective effects–supporting cell survival under stress–and pro-inflammatory effects by modulating cytokine secretion such as IL-6, suggesting its potential role in SASP development during chronic aging. FLNA, on the other hand, regulates actin cytoskeleton organization and participates in the LPAR1–FLNA–MRTF-A signaling pathway, which has been linked to senescence induction and proliferation arrest, highlighting its possible involvement in the development of the senescent phenotype.

Overall, our findings demonstrate that induced senescence leads not only to a decrease in overall protein secretion levels but also to a profound transformation of the protein composition secreted by mesenchymal stromal cells. Identified markers such as PAI-1, GDF15, THBS1, and SOCS1 may serve as both indicators of cellular senescence and potential therapeutic targets for modulating SASP or mitigating its detrimental effects on surrounding tissues.

This study provides deeper insight into the molecular consequences of MSC senescence on their secretory activity, emphasizing the need to consider cell condition in clinical applications–especially in the context of age-related diseases.

Our findings expand current understanding of the SASP proteomic profile and allow for the identification of specific molecular targets that may be exploited for selective modulation of the inflammatory activity of aging cells. For example, blocking the secretion of key pro-inflammatory proteins or inhibiting certain signaling pathways could be considered as strategies to alleviate age-associated pathologies, restore tissue homeostasis, and improve the efficacy of stem cell therapy.

Our work contributes to the systematization and bioinformatic annotation of the senescent MSC secretome and provides a foundation for further studies–potentially involving more sensitive methods such as ELISA, multiplex assays, or immunofluorescence.

Grant from the Russian Science Foundation No. 24-75-10098.

ВОЗМОЖНОСТИ БИОИМПЕДАНСНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ГИДРАТАЦИИ ОРГАНИЗМА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ (ПРОЕКТ SIRIUS)

Мытыпова О.Т.[3], Васильева Г.Ю.[1], Щелыкалина С.П.[2]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия
[2]Научно-технический центр «МЕДАСС», Москва, Россия
[3]Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова (РНИМУ), Москва, Россия

o56303412@yandex.ru

Введение. Внекорабельная деятельность (ВКД) – неотъемлемая часть современных космических полетов, требующая от космонавтов значительных физических и психоэмоциональных усилий. Условия микрогравитации и работы в скафандре приводят к локальным перераспределениям жидкости в организме, изменению общего гидратационного статуса, что также необходимо учитывать при проведении ВКД. Эффективный мониторинг гидратации организма становится критически важным для обеспечения безопасности и успешности ВКД, особенно в контексте планируемых длительных миссий на Луну и другие объекты Солнечной системы. В рамках международного проекта SIRIUS был разработан протокол моделирования ВКД (мВКД) в условиях сверхдлительной изоляции.

Для оценки динамических изменений в гидратационном статусе организма был использован метод полисегметного биоимпедансного анализа (пБИА). Эта технология зарекомендовала себя в космической медицине, ее способность регистрировать перераспределения жидкости в организме человека делает пБИА ценным инструментом для оперативного медицинского контроля в условиях, связанных с экстремальными нагрузками. Биоимпедансные анализаторы серии "СПРУТ" используются на Международной космической станции более 20 лет.

Цель работы. Оценить возможности регистрации перераспределения жидкости между регионами тела при мВКД в условиях сверхдлительной изоляции в гермообъекте.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие шесть членов экипажа эксперимента SIRIUS-23 (2 мужчин и 4 женщины в возрасте от 26 до 37 лет, весом от 53 до 87 кг и с ростом в диапазоне 158–187 см). Все добровольцы прошли медицинский отбор в соответствии со стандартами, принятыми для профессиональных космонавтов. Программа исследования получила одобрение Комиссии по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 477 от 03 июля 2023 г.).

Участники находились в условиях полной изоляции от внешней среды в течение 365 суток, проживая в ограниченном пространстве. В рамках эксперимента моделировалась ВКД по сценарию высадки на поверхность Луны. Сценарий, включал в себя три различные функциональные задачи (ФЗ), которые выполнялись последовательно.

ФЗ № 1 базируется на программе совместного российско-американского эксперимента «Полевой тест» и заключается в передвижении в виртуальной среде с неровным рельефом.

ФЗ № 2 заключалась в перемещении по виртуальной лунной поверхности с моделированием лунной гравитации. Для этого использовалась автоматическая система динамического обезвешивания, использующая сервоприводы и тросовые тяги, прикрепленные к туловищу и нижним конечностям и испытуемого.

ФЗ № 3 заключалась в управлении моделью лунного ровера с помощью джойстика, на фоне адаптивного обезвешивания рук.

Все три ФЗ выполнялись в рамках одного «выхода» мВКД в порядке ФЗ № 1, 2, 3 ("мВКД 1-2-3") или ФЗ № 1, 3, 2 ("мВКД 1-3-2"). Всего за период изоляции было проведено 32 сеанса мВКД, каждый из которых в среднем длился 40 минут.

Для мониторинга перераспределения жидкостей в организме участников использовался биоимпедансный анализатор СПРУТ-2 (Россия, IBMP/SRC «Medas») в полисегментном режиме. Измерения БИА проводились дважды в день: утром натощак до мВКД и примерно через 27 минут после его завершения. Анализировались значения электропроводности G5 головы, рук, ног и туловища на частоте зондирующего тока 5 кГц. Предполагалось, что изменения этих значений отражают колебания уровня гидратации, в первую очередь – изменения венозного кровенаполнения и межклеточной гидратации.

Для статистического анализа данных использовались критерии Вилкоксона и Манна-Уитни. Оценивали различия значений электропроводности регионов тела в фоновом измерении и после мВКД, а также различия параметра ΔG5 между правой и левой стороной тела, различия ΔG5 регионов тела при разных схемах мВКД. Анализ проводился с использованием среды разработки RStudio на версии R 4.4.2 (2024-10-31).

Результаты и обсуждение. В схеме мВКД 1-2-3 наблюдалось увеличение ΔG5 левой руки ($p < 0,05$), что соответствует росту гидратации, и уменьшение ΔG5 туловища ($p < 0,05$), указывающее на снижение гидратации. В схеме мВКД 1-3-2, напротив, ΔG5 левой руки уменьшалось ($p < 0,05$), а ΔG5 туловища оставалось неизменным ($p > 0,05$), что свидетельствует о снижении гидратации только в левой руке. Между схемами мВКД 1-2-3 и 1-3-2 выявлены статистически значимые различия ($p < 0,05$) по ΔG5 левой руки и туловища. Это свидетельствует о том, что порядок выполнения функциональных задач оказывает такие влияния на перераспределение жидкости в организме, которые могут быть зарегистрированы пБИА. Важно отметить, что данные для анализа были собраны в среднем через 27 минут после завершения мВКД. Это означает, что измерения могли отражать не только прямое влияние мВКД, но и начальные этапы восстановления гидратационного статуса. Таким образом, результаты могут включать в себя как непосредственные эффекты от выполнения мВКД, так и восстановления после выполнения ФЗ.

Сравнение значений G5 до и после мВКД показало повышение значений электропроводности в области головы и понижение значений в области ног после мВКД, что свидетельствует о перераспределении жидкости в каудальном направлении вне зависимости от схемы мВКД. Изменения электропроводности отражают колебания уровня гидратации (увеличение гидратации головы и ее понижении в области ног), в первую очередь изменения венозного кровенаполнения и межклеточной гидратации.

Сравнение значений G5 и ΔG5 между правой и левой сторонами тела не выявило статистически значимых различий ($p > 0,05$), что свидетельствует о симметричном характере перераспределения жидкости.

Выводы. В ходе исследования были выявлены статистически значимые различия между результатами, полученными в двух схемах мВКД для параметров G5 левой руки и туловища.

Независимо от порядка выполнения функциональных задач, мВКД приводит к однонаправленному изменению гидратационного статуса: статистически значимому увеличению гидратации в области нижних конечностей и снижению гидратации в области головы, что согласуется с нашими первоначальными предположениями.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований РАН по теме FMFR-2024-0039 Supported by RAS Fundamental Research Program (FMFR-2024-0039).

CAPABILITIES OF BIOIMPEDANCE ANALYSIS FOR ASSESSING REGIONAL BODY HYDRATION DURING SIMULATION OF EXTRAVEHICULAR ACTIVITY ON THE MOON SURFACE (SIRIUS PROJECT)

Mytypova O.T.[3], Vassilieva G.Yu.[1], Shchelykalina S.P.[2]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]SRC «Medas», Moscow, Russia
[3]Pirogov Russian National Research Medical University (RNRMU), Moscow, Russia

o56303412@yandex.ru

Introduction. Extravehicular activity (EVA) is an integral part of modern space flights, which requires significant physical and psycho-emotional efforts from cosmonauts. Microgravity and work in a spacesuit lead to local redistribution of fluid in the body, changes in the general hydration status, which must also be taken into account when conducting EVA. Effective monitoring of the body's hydration is becoming critically important for ensuring the safety and success of EVA, especially in the context of planned long-term missions to the Moon and other objects in the Solar System. Within the framework of the international SIRIUS project, a protocol for modeling EVA (mEVA) in conditions of ultra-long-term isolation was developed

To assess dynamic changes in the hydration status of the body, the polysegmental bioimpedance analysis (pBIA) method was used. This technology has proven itself in space medicine; its ability to record fluid redistribution in the human body makes pBIA a valuable tool for operative medical monitoring under conditions associated with extreme loads. Bioimpedance analyzers of the SPRUT series have been used on the International Space Station for over 20 years.

Purpose of the work. To evaluate the possibilities of recording the fluid redistribution between body regions during mEVA under conditions of extra long-term isolation in a hermetically closed facility.

Materials and methods. The study involved six crewmembers of the SIRIUS-23 experiment (2 men and 4 women aged 26 to 37 years, weighing 53 to 87 kg and with a height in the range of 158-187 cm). All volunteers underwent medical selection in accordance with the standards adopted for professional cosmonauts.

The experimental program was approved by the Biomedical Ethics Committee of the IBMP RAS (protocol № 477 dated July 3, 2023).

The participants were staying in the conditions of complete isolation from the external environment for 365 days, living in a limited space. The EVA based on the scenario of landing on the Moon surface was simulated in the frame of the experiment. The scenario included three different functional tasks (FT), which were performed sequentially.

FT № 1 is based on the program of the joint Russian-American experiment «Field Test» and consists of movement in a virtual environment with rough terrain.

FT № 2 consisted of moving on a virtual Moon surface with the simulation of Moon gravity. For this, an automatic dynamic de-weighting system was used, using servo drives and cable tractions attached to the subject's torso and lower extremities.

FT № 3 involved controlling a Moon rover model using a joystick, with a background of adaptive hands de-weighting.

All three FT were performed within the framework of one «exit» of mEVA in the order of FT № 1, 2, 3 («mEVA 1-2-3») or FT № 1, 3, 2 («mEVA 1-3-2»). In total, 32 mEVA sessions were performed during the isolation period, each of which lasted on average 40 minutes.

To monitor the fluids redistribution in the participants' bodies, the SPRUT-2 bioimpedance analyzer (Russia, IBMP/SRC «Medas») was used in a polysegment mode. BIA measurements were taken twice a day: in the morning on an empty stomach before mEVA and approximately 27 minutes after its completion. The values of the G5 electrical conductivity of the head, arms, legs and torso were analyzed at a probing current frequency of 5 kHz. It was assumed that changes in these values reflect fluctuations in hydration levels, primarily changes in venous blood filling and intercellular hydration.

Wilcoxon and Mann-Whitney tests were used for statistical analysis of the data. The differences in the values of the body regions electrical conductivity in the background measurement and after mEVA, as well as the differences in the ΔG5 parameter between the right and left sides of the body, and the differences in ΔG5 of body regions with different mEVA configurations were assessed. The analysis was performed using the RStudio development environment on version R 4.4.2 (2024-10-31).

Results and discussions. In the mEVA 1-2-3 configuration, an increase in ΔG5 of the left arm was observed ($p < 0.05$), which corresponds to an increase in hydration, and a decrease in ΔG5 of the torso ($p < 0.05$), indicating a decrease in hydration. In contrast, in the mEVA 1-3-2 configuration, ΔG5 of the left arm decreased ($p < 0.05$), and ΔG5 of the torso remained unchanged ($p > 0.05$), indicating a decrease in hydration only in the left arm. Statistically significant differences ($p < 0.05$) in ΔG5 of the left arm and torso were found between the mEVA 1-2-3 and 1-3-2. This indicates that the order of performing functional tasks has such effects on the body fluid redistribution that can be recorded by pBIA. It is important to note that the data for analysis was collected on average 27 minutes after completion of the mEVA. This means that the measurements may reflect not only the direct effects of the mEVA but also the initial stages of hydration status recovery. Thus, the results may include both the immediate effects of performing the mEVA and the recovery after performing the FT.

Comparison of G5 values before and after mEVA showed an increase in the values of the electrical conductivity in the head area and a decrease in the values in the leg area after mEVA, indicating a redistribution of fluid in the caudal direction regardless of the mEVA configuration. Changes in electrical conductivity reflect fluctuations in hydration levels (increased hydration in the head and decreased hydration in the leg area), primarily changes in venous blood filling and intercellular hydration

Comparison of the G5 and ΔG5 values between the right and left sides of the body revealed no statistically significant differences ($p > 0.05$), indicating a symmetrical nature of fluid redistribution.

Conclusions. The study revealed statistically significant differences between the results obtained in the two mEVA configurations for the G5 parameters of the left arm and torso.

Regardless of the order of functional task performance, mEVA leads to an unidirectional change in hydration status: a statistically significant increase in hydration in the lower extremities and a decrease in hydration in the head area, which consistent with our initial predictions.

СИМУЛЯТОР ЛУННОГО РОВЕРА КАК МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТОРА

Некто А.А.[1], Вавилов О.К.[2], Проскурякова Е.М.[2], Бугрий Г.С.[2], Сухочев П.Ю.[2], Чертоплохов В.А.[2], Абдюханов Р.Х., Литвинов Е.О.[1], Швед Д.М.[1]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия
[2]МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

nektoalexspace@gmail.com

Несмотря на повышение уровня автоматизации в освоении космического пространства, критически важную роль продолжает играть непосредственное присутствие и принятие решений человеком, особенно в условиях неопределенности, где роботы не заменяют его гибкость мышления и адаптивность.

Для подготовки человека к деятельности в экстремальных условиях применяются тренажеры, имитирующие визуальную и динамическую обстановку в космосе на основе математических моделей с параметрами, полученными при анализе результатов исследований космоса. Такие тренажеры позволяют как подготовить космонавта к возможным ситуациям (в том числе к нереализуемым на Земле), так и оценить качество и особенности его операторской деятельности. Помимо этого, оценка операторской деятельности применяется при отборе специалистов, изучении изменения состояния обследуемых после различных испытаний и при совершенствовании эргономики реальных систем с контуром «человек-машина».

В экспериментальной серии SIRIUS имитировались длительные (4, 8 и 12 месяцев) космические полеты с обитанием на лунной орбитальной станции, высадкой на лунную поверхность и внекорабельной деятельностью (ВКД). Важным элементом последней стало выполнение методики «Ровер».

Экспериментальные исследования по методике «Ровер» проводились с использованием компьютерного стенда, моделирующего операторскую деятельность по управлению напланетным транспортным средством – планетоходом (ровером). Стенд включает в себя компьютер с установленным программным обеспечением (ПО) симулятора ровера, реализованного на платформе Unity 3D, а также устройство ввода типа «джойстик» с дополнительными клавишами. Задачей методики является оценка надежности профессиональной деятельности космонавта при управлении виртуальной моделью транспортного средства на поверхности космического объекта (Луна, окрестности кратера Шеклтон).

Поставленная задача включала в себя следующие основные этапы:

1. выезд из кратера 1 и поездка к станции-передатчику;
2. включение станции-передатчика с помощью выполнения теста «РДО» (реакция на движущийся объект);
3. поездка к месту сбора лунного грунта;
4. сбор трех образцов лунного грунта;
5. возвращение к исходной точке.

Первоначально прохождение сценария на среднем уровне сложности составляло около 42 ± 5 мин., после модификации ПО в 2021 г. – около 23 ± 2 минут. В среднем, длина пройденной траектории составляла 1300 м, средняя скорость – 1,4 м/с, затраты заряда батарей лунохода – 38 %, число столкновений с препятствиями – 1. Обычно обследуемым требовалось 3–4 тренировки, чтобы выйти на плато тренированности и дальше в течение эксперимента поддерживать высокий уровень работоспособности. Протоколы исследований показывают, что у некоторых обследуемых в середине изоляции наблюдалось увеличение времени и пройденного расстояния, а затем во время последней ВКД эти показатели снова сокращались – это говорит о выборе оптимальных стратегий достижения результата через экспериментирование.

Таким образом, симулятор позволяет провести оценку оптимальности управления и надежности операторской деятельности при свободе выбора траектории и техники выполнения задач, с учетом таких параметров, как время выполнения задач, оптимальность траектории, степень риска (превышение опасных углов и скоростей), скорость и безошибочность выполнения задачи управления манипулятором.

Результаты проведенной оценки качества операторской деятельности могут быть применены для оценки психической работоспособности оператора, в том числе на борту орбитальной космической станции с целью принятия решения о выборе члена экипажа, наиболее готового к выполнению ответственной задачи (ручное управление стыковкой, выход в открытый космос и т.п.).

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-298 от 18.04.2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра.

LUNAR ROVER SIMULATOR AS A METHOD FOR ASSESSING OPERATOR RELIABILITY

Nekto A.A.[1], Vavilov O.K.[2], Proskuryakova E.M.[2], Bugriy G.S.[2], Sukhochev P.Yu.[2], Chertopolokhov V.A.[2], Abdyukhanov R.Kh., Litvinov E.O.[1], Shved D.M.[1]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

nektoalexspace@gmail.com

Despite the increasing level of automation in space exploration, direct human presence and decision-making continue to play a critical role, especially in conditions of uncertainty, where robots cannot replace flexibility of thinking and adaptability.

To prepare a person for activities in extreme situations, simulators are used that simulate the visual and dynamic environment in space based on mathematical models with parameters obtained through mathematical modeling and the results of space research. Such simulators allow both to prepare an astronaut for possible situations (including those that are unrealizable on Earth) and to evaluate the quality and characteristics of his operator activity. In addition, the assessment of operator activity is used in the selection of specialists, studying changes in the condition of subjects after various tests and in improving the ergonomics of real systems with a «man-machine» circuit.

In the SIRIUS experimental series, long-term (4, 8 and 12 months) space flights with habitation on the Lunar station, landing on the lunar surface and extravehicular activity (EVA) were simulated. An important element of the latter was the implementation of the «Rover» technique. Experimental studies using the Rover methodology were conducted using a computer rig simulating operator activity in controlling an on-planet vehicle (rover). The rig includes a computer with installed software for a rover simulator, implemented on the Unity 3D platform, as well as a joystick-type input device with additional keys. The objective of the methodology is to assess the reliability of the astronaut's professional activity in controlling a virtual model of a vehicle on the surface of a space object (the Moon, the vicinity of the Shackleton crater).

The task included the following main stages:

1. leaving crater 1 and traveling to the transmitter station;
2. turning on the transmitter station using the RDO test;
3. traveling to the lunar soil collection site;
4. collecting three lunar soil samples;
5. returning to the starting point.

Initially, the scenario at the average difficulty level took about 42 ± 5 minutes to complete, after the software modification in 2021 – about 23 ± 2 minutes. On average, the length of the trajectory traveled was 1300 m, the average speed was 1,4 m/s, the battery consumption of the lunar rover was 38%, the number of collisions with obstacles was 1. Usually, the subjects needed 3–4 training sessions to reach a plateau in training and then maintain a high level of performance during the experiment. Research protocols show that some subjects experience an increase in time and distance traveled in the middle of isolation, and then during the last EVA, these indicators decrease again – this indicates the choice of optimal strategies for achieving results through experimentation. Thus, the simulator allows testing the optimality of control with freedom of choice of trajectory and technique of performing tasks (time of task execution, optimality of trajectory, degree of risk (exceeding dangerous angles and speeds), speed of performing the task of manipulator control.

The results of the conducted assessment of the quality of operator activity can be used to determine the psychophysiological state of the operator, including on board the orbital space station in order to decide on the choice of the most prepared to perform a responsible task (manual control of docking, spacewalk, etc.).

The study was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under Agreement No. 075-15-2022-298 dated April 18, 2022 on the provision of a grant in the form of subsidies from the federal budget for the imp.

АКУСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЧИ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Некто А.А., Кувинова И.Е., Егорова А.А., Кириллова Ю.В., Швед Д.М.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

nektoalexspace@gmail.com

Анализ акустических характеристик речи позволяет оценить динамику эмоциональных и функциональных состояний человека-оператора непосредственно в ходе выполнения им его профессиональной деятельности. В отличие от традиционных способов исследования данный метод является менее энергозатратным и может быть использован при мониторинге психофизиологического состояния человека в режиме реального времени.

Предлагаемый нами метод применялся во всех экспериментах проекта SIRIUS: 4-месячном, 8-месячном и годовом изоляционных экспериментах.

Запись аудио-отчетов проводилась утром и вечером – данный формат частично воспроизводит ежедневные планировочные конференции (DPC), выполняемые космонавтами в начале и в конце рабочего дня. На этапе обработки полученного материала анализировались отрезки речи, унифицированные протоколом для минимизации влияния варьирующего контента высказываний. В динамике исследовались частота основного тона (ЧОТ, средняя и медианная), громкость речи, количество голосовых импульсов и пауз в речи, амплитудные и частотные характеристики – шиммер и джиттер.

Суммарно было проанализировано 3688 аудиозаписей.

Общими тенденциями для всех испытателей стали понижение ЧОТ и уменьшение процента пауз в речи на протяжении изоляционных экспериментов (значимость на уровне $p < 0,001$). Помимо этого, были выявлены различия, обусловленные половым признаком: у женщин наблюдалось значимое повышение громкости речи ($p < 0,001$), а у мужчин – увеличение количества голосовых импульсов ($p < 0,001$) и процента шиммер-эффекта ($p < 0,05$). Это значит, что к концу изоляции голос женщин-испытателей становился более низким и громким, а у мужчин – низким и расслабленным, и в целом у всех сокращалось время на передачу сообщений для специалистов ЦУПа за счет ускорения речи.

Наибольшую значимость представляют записи, сделанные во время нештатных ситуаций и напряженных отрезков эксперимента (ВКД и стыковка грузового корабля). Информативными акустическими показателями для анализа интенсивности психоэмоциональных реакций на события эксперимента являются ЧОТ, процент пауз, громкость, процент шиммер- и джиттер- эффекта – испытатели реагировали на значимые события индивидуальными, но повторяющимися паттернами.

Тем не менее, следует отметить, что на наиболее эмоционально-значимые события (например, как незапланированные события в 8-месячном эксперименте: травма и эвакуация коллеги по эксперименту, известие о начале военных действий и др.), обследуемые реагировали одинаковым изменением акустических характеристик речи. Процент пауз в речи, ЧОТ, громкость – данные показатели в течение нескольких срезов исследования изменялись у членов экипажа «синхронно». Эта особенность речевого поведения может говорить о сплоченности обследуемых по отношению к происходящему.

В дальнейшим полученные аудиозаписи представляется необходимым сравнить с показателями психоэмоционального состояния обследуемых и параметрами их психической работоспособности с целью создания прогностических моделей эффективности деятельности человека-оператора. Данные исследования позволят подготовить научно-методическую и техническую базу для проведения бортовых исследований.

Исследование выполнено в рамках программы Фундаментальных научных исследований РАН FMFR-2024-0034.

ACOUSTIC ANALYSIS OF SPEECH IN SIMULATED SPACEFLIGHT ENVIRONMENT

Nekto A.A., Kuvinova I.E., Egorova A.A., Kirillova Yu.V., Shved D.M.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

nektoalexspace@gmail.com

Analysis of acoustic characteristics of speech allows to evaluate the dynamics of emotional and functional states of a human operator directly during the performance of his professional activity. Unlike traditional research

methods, this method is less energy-consuming and can be used to monitor the psychophysiological state of a person in real time.

The method we propose was used in all experiments of the SIRIUS project: 4-month, 8-month and one-year isolation experiments.

The audio reports were recorded in the morning and in the evening – this format partially reproduces the daily planning conferences (DPC) held by cosmonauts at the beginning and end of the working day. At the stage of processing the obtained material, speech segments were analyzed, standardized by the protocol to minimize the influence of the varying content of statements. The frequency of the fundamental tone (pitch, average and median), speech volume, the number of pulses and pauses in speech, amplitude and frequency characteristics (shimmer and jitter) were studied dynamically.

A total of 3688 audio recordings were analyzed.

The general trends for all testers were a decrease in pitch and a decrease in the percentage of pauses in speech during the isolation experiments (significance at the level of $p < 0.001$). In addition, differences due to gender were revealed: women showed a significant increase in speech volume ($p < 0.001$), and men - an increase in the number of voice impulses ($p < 0.001$) and the percentage of shimmer effect ($p < 0.05$). This means that by the end of the isolation, the voice of the female test subjects became lower and louder, while that of the male subjects became lower and more relaxed, and in general, the time it took for everyone to transmit messages to the Mission Control specialists was reduced due to the acceleration of speech.

Of greatest significance are the recordings made during emergency situations and tense sections of the experiment (EVA and docking of the cargo ship). Informative acoustic indicators for analyzing the intensity of psychoemotional reactions to the events of the experiment are the pitch, the percentage of pauses, voice volume, the percentage of shimmer and jitter effects - the subjects responded to significant events with individual, but repeating patterns.

Nevertheless, it should be noted that the subjects responded to the most emotionally significant events (for example, as unplanned events in the 8-month experiment: injury and evacuation of a colleague in the experiment, news of the beginning of military actions, etc.) with the same change in the acoustic characteristics of speech. The percentage of pauses in speech, the frequency of sounds, and the volume – these indicators changed "synchronously" in the crew members during several sections of the study. This feature of speech behavior may indicate the cohesion of the subjects in relation to what is happening.

In the future, it seems necessary to compare the obtained audio recordings with the indicators of the psycho-emotional state of the subjects and the parameters of their mental performance in order to create predictive models of the effectiveness of the human operator. These studies will allow us to prepare a scientific, methodological and technical basis for conducting on-board studies.

The study was carried out within the framework of the Fundamental Scientific Research Program of the Russian Academy of Sciences FMFR-2024-0034.

ДИНАМИКА ПСИХИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ УЧАСТНИКОВ ДЛИТЕЛЬНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ИМИТИРУЮЩИХ КОСМИЧЕСКИЙ ПОЛЕТ

Некто А.А., Швед Д.М., Савинкина А.О., Федяй С.О., Иванов А.В., Бубеев Ю.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

nektoalexspace@gmail.com

Для оценки психической работоспособности и психоэмоционального состояния участников длительных экспериментов, имитирующих космический полет, нами использовалось компьютеризированное тестирование, проводящееся один (в 8-месячном) или два раза (в 4-месячном и годовом эксперименте) в сутки раз в 3 дня на протяжении всего воздействия. Экспериментальные серии состояли из 4-месячной, 8-месячной и годовой изоляций, в которых суммарно приняли участие 18 человек (10 женщин и 8 мужчин). Полученный объем данных составил 2 374 записи.

Способом оценки работоспособности в нашей работе выступало ежедневно проводимое когнитивное тестирование на базе ПО Corrshell, которое включало тесты на кратковременную зрительную память, реакцию на движущийся объект (РДО: координация и экстраполяция), простую зрительно-моторную реакцию,

решение простых математических задач. Помимо этого, в данном ПО реализован опросник настроения и состояния, в котором обследуемые могли отмечать свое самочувствие по таким шкалам как «активность», «усталость», «радость», «раздражение», «тоска» и др.

Для того, чтобы найти связи между различными параметрами психической работоспособности, был проведен факторный анализ методом вращения Варимакс с нормализацией Кайзера. Вращение сошлось за три итерации и выделило две компоненты.

Первую условно можно было бы назвать «задержкой реакции», так как она объединяет ошибки в тестах РДО и в скорости реакции в тесте ПЗМР, время, затраченное на решение простых математических задач, а также ошибки в тестах на кратковременную зрительную память средних и сложных структур.

Вторую компоненту, напротив, можно было бы назвать «импульсивными действиями»: она объединяет ошибки в задании на решение простых математических задач, ошибки в тесте ПЗМР и в тесте на кратковременную зрительную память простого уровня. Можно предположить, что ошибки, возникающие в данных заданиях, были вызваны не столько неправильным решением задач, сколько импульсивным, приведшим к неверному ответу, нажатием клавиш.

Далее показатели психической работоспособности были переведены в z-шкалы для стандартизации, и включены в выделенные компоненты. Был проведен корреляционный анализ (коэффициент корреляции Спирмена), чтобы уточнить динамику полученных компонент на протяжении изоляционных экспериментов.

Анализ показал значимое уменьшение баллов по первой компоненты (задержка реакции) у большинства испытуемых в изоляционных экспериментах различной длительности (значимость на уровне $p < 0,0001$) – у 15 из 18 испытателей. У двоих испытателей не было обнаружено динамики ни по одной из компонент. Помимо этого, вторая компонента (импульсивные действия) значимо снижалась у 5 обследуемых и значимо повышалась у 1.

Был проведен корреляционный анализ, чтобы уточнить, какие эмоциональные состояния сопутствовали той или иной характеристике деятельности (компоненте). Выяснилось, что в целом профиль испытываемых эмоций по данным компонентам схож: в обоих случаях найдены значимые негативные взаимосвязи с состояниями активности, радости, спокойствием и внимательностью, и положительная связь с усталость (все взаимосвязи на уровне значимости $p < 0,001$). Тем не менее, есть и различия: с «импульсивными действиями» не коррелировали состояния тревоги, раздражения и нерешительности, а тоска коррелировала отрицательно. В таком случае, «задержка реакции», вероятно, была более связана с негативными переживаниями: тревогой, раздражением, тоской и нерешительностью, в то время как «импульсивные действия» были связаны в основном с усталостью, без заметных негативных эмоциональных переживаний.

Если рассматривать динамику эмоциональных состояний, то в течение всех изоляционных экспериментов наблюдалось постепенное уменьшение негативных эмоций (раздражения, тоски, нерешительности – все на уровне ($p < 0,005$)), но также снижались и активность, радость, спокойствие и внимательность (значимость на уровне $p < 0,0001$).

Подобная динамика показателей работоспособности и эмоциональных состояний указывает как на возрастание тренированности у большинства обследуемых при регулярном выполнении задач, имитирующих операторскую деятельность, так и на эмоциональную адаптацию к условиям изоляционного эксперимента. Являясь в основном однородными, они могут как вызывать астению (снижение активности, радости и внимательности), так и создавать особый психологический климат (снижение раздражения, тоски, нерешительности и спокойствия).

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-298 от 18.04.2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Павловский центр "Интегративная физиология – медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям стрессоустойчивости"».

DYNAMICS OF MENTAL PERFORMANCE AND PSYCHOEMOTIONAL STATE OF PARTICIPANTS IN LONG-TERM ISOLATION EXPERIMENTS SIMULATING SPACE FLIGHT

Nekto A.A., Shved D.M., Savinkina A.O., Fedyai S.O., Ivanov A.V., Bubeev Yu.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

nektoalexspace@gmail.com

To assess the mental performance and psycho-emotional state of participants in long-term experiments simulating space flight, we used computerized testing, conducted once (in the 8-month experiment) or twice (in the 4-month and 1-year experiment) per day every 3 days throughout the entire exposure. The experimental series consisted of 4-month, 8-month and 1-year isolations, in which a total of 18 people (10 women and 8 men) participated. The obtained data volume was 2,374 records.

The method for assessing performance in our work was daily cognitive testing based on the Corrshell software, which included tests for short-term visual memory, reaction to a moving object (RDO: coordination and extrapolation), simple visual-motor reaction, and solving simple mathematical problems. In addition, this software has a mood and condition questionnaire, in which the subjects could mark their well-being on scales such as «activity», «fatigue», «joy», «irritation», «melancholy», etc.

In order to find connections between different parameters of mental performance, a factor analysis was conducted using the Varimax rotation method with Kaiser normalization. The rotation converged in three iterations and identified two components.

The first could be conditionally called «reaction delay», since it combines errors in the RDO tests and in the reaction speed in the PZMR test, the time spent on solving simple mathematical problems, as well as errors in tests for short-term visual memory of medium and complex structures.

The second component, on the contrary, could be called «impulsive actions»: it combines errors in the task of solving simple mathematical problems, errors in the PZMR test and in the test for short-term visual memory of a simple level. It can be assumed that the errors that occurred in these tasks were caused not so much by incorrect problem solving as by impulsive keystrokes that led to an incorrect answer.

Then, the mental performance indicators were converted to z-scales for standardization and included in the selected components. A correlation analysis (Spearman correlation coefficient) was conducted to clarify the dynamics of the components obtained during the isolation experiments.

The analysis showed a significant decrease in scores for the first component (response delay) for most subjects in isolation experiments of varying duration (significance at the level of $p < 0.0001$) - for 15 out of 18 testers. For two testers, no dynamics were found for any of the components. In addition, the second component (impulsive actions) significantly decreased in 5 subjects and significantly increased in 1.

A correlation analysis was conducted to clarify which emotional states accompanied a particular characteristic of activity (component). It turned out that, in general, the profile of experienced emotions for these components is similar: in both cases, significant negative relationships were found with the states of activity, joy, calmness and attentiveness, and a positive relationship with fatigue (all relationships at a significance level of $p < 0.001$). However, there are also differences: states of anxiety, irritation and indecision did not correlate with «impulsive actions», and melancholy correlated negatively. In this case, the «delayed reaction» was probably more associated with negative experiences: anxiety, irritation, melancholy and indecision, while «impulsive actions» were associated mainly with fatigue, without noticeable negative emotional experiences.

If we consider the dynamics of emotional states, then during all the isolation experiments a gradual decrease in negative emotions was observed (irritation, melancholy, indecision - all at the level of ($p < 0.005$)), but also decreased activity, joy, calmness and attentiveness (significance at the level of $p < 0.0001$).

Such dynamics of performance indicators and emotional states indicate both an increase in training in most subjects with regular performance of tasks simulating operator activity, and emotional adaptation to the conditions of the isolation experiment. Being mostly homogeneous, they can both cause asthenia (decreased activity, joy and attentiveness) and create a special psychological climate (decreased irritation, melancholy, indecision and calmness).

The study was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under Agreement No. 075-15-2022-298 dated April 18, 2022 on the provision of a grant in the form of subsidies from the federal budget for the implementation of state support for the creation and development of a world-class scientific center «Pavlov Center for Integrative Physiology - Medicine, High-Tech Healthcare and Stress Resistance Technologies».

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОРЕТИНОГРАММЫ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СЕТЧАТКИ И ЛАБИЛЬНОСТИ ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА У УЧАСТНИКОВ ЭКСПЕРИМЕНТА SIRIUS-23

Нероев В.В.[1], Зуева М.В.[1, 2], Котелин В.И.[1], Манько О.М.[2], Егорова И.В.[1], Алескеров А.М.[2], Фадеев Д.В.[1], Колесников Д.Ю.[2]

[1]НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца Минздрава России, Москва, Россия
[2]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

visionlab@yandex.ru

Цель: Оценка динамики электрической чувствительности (ЭЧ) сетчатки и электрической лабильности (ЭЛ) зрительного нерва (ЗН) (тест ЭЧиЛ) в течение 12 месяцев изоляции в гермообъекте, а также изменения ЭРГ и зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) на паттерн-реверсивный шахматный стимул у частников международного эксперимента SIRIUS-23.

Методы. ЭЧиЛ тестировали с помощью «ЭСОМ» (МНПО «Нейрон», Уфа, Россия) 1 раз в месяц, дважды в день измерений (утром и вечером). Длительность импульса 10 мс, частота следования импульсов 5 Гц, начальная сила тока 20 мкА. При плавном изменении амплитуды тока возникает зрительное ощущение (фосфен). Порог ЭЧ сетчатки определяли, как минимальное значение тока, вызывающего фосфен. Для оценки ЭЛ ЗН пороговую амплитуду тока увеличивали в полтора раза, после чего плавно повышали частоту электрических импульсов до момента субъективного ощущения исчезновения мельканий.

ЭРГ и ЗВП записывали до и после изоляции с помощью прибора RETIport/scan21 (Roland Consult, Германия). Записывали колбочковую ЭРГ, фотопический негативный ответ (ФНО), ритмические ЭРГ (РЭРГ) на мелькания частотой 8,3–30 Гц, паттерн-ЭРГ (ПЭРГ), и ЗВП.

Результаты. Устойчивое снижение порогов ЭЧ сетчатки обнаружено для утренних измерений через 6 месяцев, а для вечерних – через 7–8 месяцев эксперимента. Отмечены стабильные показатели ЭЛ ЗН (30–31 Гц) в течение всего года. В 12-месячном эксперименте SIRIUS-23 подтверждена динамика ЭЧиЛ, выявленная ранее в 8-мес. эксперименте. ЭЛ ЗН показала большую устойчивость к физическим и психоэмоциональным нагрузкам, чем пороги ЭЧ сетчатки.

После выхода из изоляции временные и амплитудные параметры волн колбочковой ЭРГ пилотов не отличались значимо от исходных фоновых значений. Амплитуда РЭРГ снизилась (на 3 мкВ) для мельканий 30 Гц ($p = 0,0394$) и 12 Гц ($p = 0,0243$). Наблюдалось сокращение на 2мс пиковой латентности P50 ($p = 0,0605$) и N95 ПЭРГ на паттерн 16° ($p > 0,05$), и редукция амплитуды волн ПЭРГ на 2–4 мкВ. После выхода из изоляции у пилотов отмечено возрастание амплитуды ФНО на стимул 0,75 кд×с/м2 ($p = 0,0576$) и P100 ЗВП на крупный паттерн ($p > 0,05$).

Заключение. В 12-месячном эксперименте SIRIUS-23 подтверждены закономерности изменений показателей ЭЧиЛ, установленные в 8-месячном эксперименте SIRIUS-21, которые доказывают, что в экстремальных ситуациях, требующих перенесения значительных нагрузок, колебание порогов ЭЧ сетчатки будет зависеть от длительности задания и стрессорных факторов. Снижение порога ЭЧ сетчатки может также говорить о высокой индивидуальной устойчивости членов экипажа к стрессу. Подтверждено, что ЭЛ ЗН более устойчива к физическим и психоэмоциональным нагрузкам, чем пороги ЭЧ сетчатки. Проведение теста ЭЧиЛ может быть полезным методом для оценки индивидуальной выносливости членов экипажа, функционального состояния ЗН у космонавтов на орбитальных космических станциях и выявления риска развития SANS в длительных перелетах. Отмеченные изменения ЭРГ и ЗВП могут отражать адаптацию зрительной сенсорной системы испытателей к условиям на борту искусственной станции.

Работа выполнена в рамках НИР РАН: FMFR-2024-0034.

CHANGES IN ELECTRORETINOGRAM, ELECTRICAL SENSITIVITY OF THE RETINA AND OPTIC NERVE LABILITY IN PARTICIPANTS OF THE SIRIUS-23 EXPERIMENT

Neroev V.V.[1], Zueva M.V.[1, 2], Kotelin V.I.[1], Manko O.M.[2], Egorova I.V.[1], Aleskerov A.M.[2], Fadeev D.V.[1], Kolesnikov D.Yu.[2]

[1]Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, Moscow, Russia
[2]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

visionlab@yandex.ru

Objective: To assess the dynamics of electrical sensitivity (ES) of the retina and electrical lability (EL) of the optic nerve (ON) (ES&L test) during 12 months of isolation in a hermetic object, as well as changes in the ERGs and visual evoked potentials (VEP) to a pattern-reversible chessboard stimulus in participants of the international experiment SIRIUS-23.

Methods. ES&L was tested using «ESOM» (Neuron, Ufa, Russia) once a month, twice a day of measurements (morning and evening). Pulse duration was 10 ms, pulse repetition frequency – 5 Hz, initial current strength – 20 μA. With a smooth change in current amplitude, a visual sensation (phosphene) occurs. The ES threshold of the retina was defined as the minimum value of the current causing phosphene. To assess the EL of the ON, the threshold current amplitude was increased by one and a half times, after which the frequency of electrical impulses was smoothly increased until the subjective sensation of the disappearance of flickering.

ERG and VEP were recorded before and after isolation using the RETIport/scan21 device (Roland Consult, Germany). Cone ERG, photopic negative response (PhNR), flicker ERG (FERG) to flickering with a frequency of 8.3–30 Hz, pattern ERG (PERG), and VEP were recorded.

Results. In the first six months of stay in the hermetic object, there were differences between the morning and evening ES data, reflecting circadian changes in thresholds, which disappeared between the 7th and 12th months of isolation. A stable decrease in the retinal ES thresholds was found for morning measurements after 6 months, and for evening measurements – after 7–8 months of the experiment. Stable indicators of the EL of the ON (30–31 Hz) were noted throughout the year. In the 12-month SIRIUS-23 experiment, the dynamics of the ES and EL, previously revealed in the 8-month experiment, was confirmed. The EL of the ON showed greater resistance to physical and psychoemotional stress than the retinal ES thresholds. After leaving isolation, the time and amplitude parameters of the cone ERG waves of the pilots did not differ significantly from the initial background values. The amplitude of the FERG decreased (by 3 μV) for flickering of 30 Hz ($p = 0.0394$) and 12 Hz ($p = 0.0243$). A 2ms reduction in the peak latency of the P50 ($p = 0.0605$) and N95 PERG's waves to the 16° pattern ($p > 0.05$) as well as a 2–4 μV reduction in the amplitude of PERG waves were observed. After leaving isolation, the crew members showed an increase in the amplitude of the PhNR to the stimulus of 0.75 cd×s/m2 ($p = 0.0576$) and P100 VEPs to a large pattern ($p > 0.05$).

Conclusion. The 12-month SIRIUS-23 experiment confirmed the patterns of changes in the ES&L indices that we had previously established in the 8-month SIRIUS-21 experiment, which prove that in extreme situations requiring significant loads, fluctuations in the retinal ES thresholds will depend on the duration of the task and stress factors. A decrease in the retinal ES threshold may also indicate high individual resistance of crew members to stress. It has been confirmed that the EL of the ON is more resistant to physical and psychoemotional stress than the ES thresholds. Conducting the ES&L test may be a useful method for assessing the individual endurance of crew members, the functional state of the ON in astronauts on orbital space stations, and identifying the risk of developing SANS during long-term flights. The noted changes in ERG and VEP may reflect the adaptation of the visual sensory system of the test subjects to the conditions on board the artificial station.

ДИНАМИКА ПСИХОНЕЙРОЭНДОКРИНОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА И ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ С 12-МЕСЯЧНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ В ГЕРМООБЪЕКТАХ ЭКСПЕРИМЕНТА SIRIUS

Ничипорук И.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

igor.nichiporuk@yandex.ru

Целью исследований являлось получение новых научных данных о влиянии типологических особенностей исходного психонейроэндокринного статуса, нейрогормональной регуляции водно-электролитного

гомеостаза и обмена веществ, их динамики и взаимосвязи на выбор стратегии адаптации организма человека к условиям длительной изоляции и ее реализации в исследованиях с 12-месячной изоляцией в гермообъектах эксперимента SIRIUS. Результаты анализа антропометрических, гемодинамических и психофизиологических показателей, динамики и компонентов состава тела 6 здоровых испытателей-добровольцев (2 мужчин и 4 женщины) выявили в условиях изоляции повышенный расход эндогенных запасов жиров, уменьшение доли активной клеточной массы, вероятно, обусловленной гипотрофией мышц в результате гиподинамии, что компенсировалось средствами профилактики не полностью.

Результаты множественного корреляционного анализа показали, что увеличение продолжительности изоляции более чем в 90 % всех случаев сопровождалось снижением относительной влажности и температуры воздушной среды гермообъектов, повышением систолического и снижением диастолического артериального давления, ростом уровня основного обмена и уменьшением % активной клеточной массы организма обследуемых на фоне усиления уровня депрессии и чувства беспокойства, сопровождаемых снижением социальной конформности и мотивации к деятельности при стандартной ошибке оценки ~ 1,5 месяца.

Анализ гендерных различий свидетельствует, что женщины имели более низкий индекс массы тела, более высокое соотношение внеклеточная/клеточная жидкости (ВКЖ/КЖ) на фоне практически неименной скорости клубочковой фильтрации, меньшие периферическое сопротивление сосудов и концентрацию кортизола в крови, бóльшую сбалансированность вегетативной нервной системы в отличие от выраженной парасимпатикотонии у мужчин, они отличались большей сохранностью активной клеточной массы и эндогенных жиров, сопровождаемых меньшими концентрацией в крови и экскрецией с мочой эндогенного креатинина, что сопровождалось более высокой дофаминергической активностью, проявляемой более высокой суточной экскрецией дофамина с мочой по сравнению с обследуемыми мужчинами.

Интерпретация конечных результатов множественного корреляционного анализа взаимосвязи % активной клеточной массы (АКМ) от тощей массы тела с другими независимыми переменными показывает, что бóльшая сохранность АКМ в условиях изоляции отмечалась, преимущественно, у женщин с более выраженной экстравертированностью, меньшими значениями сухой массы тела, соотношением ВКЖ/КЖ, экскреции дофамина и креатинина с мочой и концентрации эстрадиола в крови на фоне повышенных минутного объема кровообращения, периферического сопротивления сосудов, скорости экскреции жидкости, суточной экскреции норадреналина и концентрации общего тестостерона в крови, что, в целом, свидетельствует о большей выраженности у них анаболических реакций и процессов, направленных на поддержание активной мышечной массы в условиях гипокинезии, по сравнению с обследуемыми мужчинами

Характерной особенностью обследуемых женщин в условиях изоляции являлось сочетание экстравертированности и относительно высокой автономности, что могло быть обусловлено длительным пребыванием в составе смешанного экипажа в ограниченном пространстве гермообъектов

В целом, лучшую адаптированность к условиям продолжительной изоляции с умеренными изменениями параметров микроклимата показывали женщины, что проявлялось в большей сохранности у них функционально-активной мышечной массы и более высокой скоростью обработки цифровой информации, меньшей выраженностью негативных проявлений актуального психического состояния, меньшими потерями эндогенной жировой массы тела, сбалансированностью вегетативной нервной системы и большей анаболической активностью нейрогормональной регуляции метаболизма.

Тема РАН FMFR-2024-0039.

DYNAMICS OF PSYCHONEUROENDOCRINOLOGICAL STATUS AND ADAPTATION FEATURES IN STUDIES WITH 12-MONTH ISOLATION IN HERMETIC FACILITIES OF THE SIRIUS EXPERIMENT

Nichiporuk I.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

igor.nichiporuk@yandex.ru

The main goal of research was a reception of the new scientific data about influence of typological features of initial psychoneuroendocrine state, neurohormonal regulation of a water-electrolyte homeostasis and a metabolism, their dynamics and interrelation on a choice of strategy of adaptation of a human organism and its realization in research with 12-month's isolation in hermetic objects in experiment «Sirius». Results of the analysis of anthropometrical, hemodynamic and psychophysiological parameters, dynamics and components of a body

composition of 6 healthy volunteers (2 men and 4 women) in the conditions of isolation have revealed the raised expense of endogen fats, reduction of a share of body cell mass, possibly, caused by hypotrophy of muscles as a result of hypokinesia, that was not completely compensated by the countermeasures used.

Results of the multiple correlation analysis have shown, that the increase in duration of isolation more than in 90 % of all cases was accompanied by the decrease in relative humidity and temperature of air in hermetic objects, increase of systolic and decrease of diastolic arterial pressures, growth of a rest metabolic rate and the reduction of body cell mass % in organisms of test- subjects against strengthening of depression's level and the feeling of anxiety, accompanied by the decrease of social conformity and motivation to activity with the standard error of estimation ~1,5 months.

The analysis of gender differences shows that women had a lower body mass index, a higher extracellular/cellular fluid ratio (ECF/CF) against the background of an almost unknown glomerular filtration rate, lower peripheral vascular resistance and cortisol concentration in the blood, greater balance of the autonomic nervous system, in contrast to pronounced parasympathicotonia in men, they were more preservation of active cell mass and endogenous fats, accompanied by lower concentrations in the blood and urinary excretion of endogenous creatinine, This was accompanied by higher dopaminergic activity, manifested by a higher daily urinary excretion of dopamine compared to the men studied.

Interpretation of the final results of a multiple correlation analysis of the relationship of % body cell mass (BCM) from lean body weight with other independent variables shows that greater preservation of BCM in isolation was observed mainly in women with more pronounced extraversion, lower values of dry body weight, the ratio of ECF/CF, urinary dopamine and creatinine excretion, and estradiol concentrations in the blood against the background of increased minute volume of blood circulation, peripheral vascular resistance, and fluid excretion rate, the daily excretion of norepinephrine and the concentration of total testosterone in the blood, which, in general, indicates a greater severity of their anabolic reactions and processes aimed at maintaining active muscle mass in conditions of hypokinesia, compared with the men studied.

A characteristic feature of the women surveyed in isolation was a combination of extroversion and relatively high autonomy, which could be due to a long stay in a mixed crew in a confined space of hermetic facilities.

As a whole, women has shown better adaptation to conditions of long-term isolation with moderate changes of microclimate parameters which was expressed in higher safety of the functional-active muscular mass and higher speed of correct processing of the digital information, smaller expressiveness of negative features of an actual mental condition, smaller losses of endogenous body fat mass, balance of autonomic nervous system and higher anabolic activity of the neurohormonal metabolism regulation.

The work was carried out within the framework of the RAS topic FMFR-2024-0039.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА БОЛЕВУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА В РЕАЛЬНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ И НАЗЕМНЫХ МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Ниязов А.Р., Баранов М.В., Федяй С.О., Поляков А.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

arn1708@yandex.ru

В условиях космического полета на организм человека действует ряд факторов, вызывающих различные изменения практически во всех системах органов и тканях. В космических полетах у человека могут развиваться различные болезни и проблемы, связанные со здоровьем. Одним из основных симптомов патологических изменений в организме является боль. При этом влияние факторов космического полета на болевую чувствительность практически не изучено.

Целью данной работы явилось изучение влияние факторов космического полета на болевую чувствительность человека.

Была проведена серия исследований, заключавшихся в оценке динамики прессорного и теплового порогов болевой чувствительности. В исследованиях приняло участие 84 человека: космонавты (члены экипажей долговременных экспедиций на Международную космическую станцию), участники изоляционных экспериментов SIRIUS, члены антарктической экспедиции, испытатели в экспериментах с «гипомагниты-

ми» условиями, «сухой» иммерсией и антиортостатической гипокинезией. Исследования прошли согласование Комиссии по биомедицинской этике.

Результаты исследований показали статистически значимое ($p < 0,05$) повышение показателей порога болевой чувствительности в космическом полете. Также, было выявлено статистически значимое ($p < 0,05$) повышение показателей порога болевой чувствительности в эксперименте с антиортостатической гипокинезией, моделирующей, в том числе, такой эффект микрогравитации, как перераспределение жидких сред в краниальном направлении.

Таким образом, выявлено снижение болевой чувствительности в космическом полете и ведущим фактором, вызвавшим эти изменения, по всей видимости, является микрогравитация.

Программа фундаментальных научных исследований РАН (Министерство науки и высшего образования) FMFR-2024-0039.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SPACEFLIGHT FACTORS ON HUMAN PAIN SENSITIVITY IN REAL SPACEFLIGHT AND GROUND-BASED SIMULATION EXPERIMENTS

Niiazov A.R., Baranov M.V. Fedyay S.O., Polyakov A.V.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

arn1708@yandex.ru

The human body is affected by a number of factors that cause various changes in almost all organ systems and tissues in spaceflight., A person can develop various diseases and health-related problems during spaceflights. One of the main symptoms of pathological changes in the body is pain. At the same time, the effect of spaceflight factors on pain sensitivity has not been studied in practice.

The aim of this work was to study the influence of spaceflight factors on human pain sensitivity.

A series of studies was conducted to evaluate the dynamics of the pressure pain threshold and heat pain threshold thresholds of pain sensitivity. 84 subjects took part in the research: cosmonauts (crew members of long-term missions to the International Space Station), crew members of the isolation experiment SIRIUS, members of the Antarctic expedition, subjects in an experiments with an «hypomagnetic» conditions, «dry» immersion and antiorthostatic hypokinesia (head-down bed rest). The investigations have been approved by the Commission on Biomedical Ethics.

The research results showed a statistically significant ($p < 0.05$) increase in pain threshold values in spaceflight. A statistically significant ($p < 0.05$) increase in pain threshold values was also revealed in an experiment with head-down bed rest, which simulated, among other things, such an effect of microgravity as headward fluid shift.

Thus, a decrease in pain sensitivity was revealed during space flight, and microgravity seems to be the leading factor causing these changes.

Russian Academy of Sciences Fundamental Research Program (Ministry of Science and Higher Education of Russia) FMFR-2024-0039.

МЕДИЦИНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ SIRIUS КАК МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МЕДИЦИНСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Ниязов А.Р., Федяй С.О., Пономарёв С.А., Поляков А.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

arn1708@yandex.ru

В космическом полете на организм человека действует ряд экстремальных факторов, способных оказывать негативное влияние. Данная проблема становится особенно актуальной при планировании перспективных пилотируемых длительных и дальних космических полетов, в том числе к Луне, которые потребуют увеличения автономности экипажей. Однако, на данный момент полноценной комплексной статистики заболеваемости и потребностей в средствах оказания медицинской помощи во время косми-

ческих полетов (в том числе на борту МКС) российских экипажей не ведется по ряду этических и технических причин.

Ряд важных практических вопросов медицинского обеспечения длительных и дальних космических полетов позволяют отработать модельные изоляционные эксперименты, в которых удается воспроизвести автономную операторскую деятельность малой группы по типу экипажа космического корабля. Они дают возможность проанализировать показатели заболеваемости и потребность в средствах оказания медицинской помощи автономных малых групп. Также, система медицинского обеспечения изоляционных экспериментов сама по себе является моделью системы медицинского обеспечения космических полетов. Одним из крупнейших подобных проектов явился международный проект «SIRIUS», состоявший из 4 этапов: SIRIUS-17 (17-суточная изоляция), SIRIUS-19 (4-месячная изоляция), SIRIUS-21 (8-месячная изоляция) и SIRIUS-23 (годовая изоляция). Программы экспериментов «SIRIUS» прошли согласование Комиссии по биомедицинской этике.

Результаты данного исследовательского проекта выявили ряд медицинских и психофизиологических рисков. Например, анализ медицинских случаев 18 человек – членов экипажей экспериментов и показал, что в 49 % (34 из 70 случаев) в SIRIUS-19, 48 % (79 из 163 случаев) в SIRIUS-21 и в 69 % (265 из 382 случаев) диагноз основывался только на субъективных симптомах.

Медицинское обеспечение во время наземной подготовки, в космическом полете и послеполетном периоде должно основываться на принципе доказательной медицины с использованием достижении трансляционной медицины и интегративной физиологии, модифицированных по результатам анализа данных о медицинских случаях в космическом полете. В целях поддержания и увеличения профессионального долголетия членов космических экипажей необходима разработка комплексных стратегий превенции, в том числе нейропротекции в космических полетах.

На основе полученных данных были сформулированы предложения для профильных организаций в отношении перспективных космических программ пилотируемых полетов по совершенствованию медицинского контроля, оказания медицинской помощи и медицинской профилактики, а также созданию системы медицинского управления.

Также, изоляционные эксперименты можно рассматривать в качестве одного из методов подготовки космонавтов.

Программа фундаментальных научных исследований РАН (Министерство науки и высшего образования) FMFR-2024-0039.

MEDICAL SUPPORT FOR SIRIUS ISOLATION EXPERIMENTS AS A MODEL OF THE SPACEFLIGHT MEDICAL SUPPORT SYSTEM

Niiazov A.R., Fedyay S.O., Ponomarev S.A., Polyakov A.V.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

arn1708@yandex.ru

The human body is affected by a number of extreme factors that can have a negative impact in spaceflight. This problem becomes especially relevant for planning promising manned long-term and long-range spaceflights, including to the Moon, which will require increased crew autonomy. However, at the moment, full-fledged comprehensive statistics of morbidity and medical care needs during spaceflights (including on board the ISS) are not conducted by Russian crews for a number of ethical and technical reasons.

Analogue isolation experiments in which it is possible to reproduce the autonomous operational activities of a small group of spacecraft crew allow us to work out a number of important practical issues of medical support for long-term and long-range spaceflights. They provide an opportunity to analyze morbidity rates and the need for medical supplies for autonomous small groups. Also, the medical support system for isolation experiments is itself a model of the medical support system for spaceflights. One of the largest such projects was the international project SIRIUS, which consisted of 4 stages: SIRIUS-17 (17-day isolation), SIRIUS-19 (4-month isolation), SIRIUS-21 (8-month isolation) and SIRIUS-23 (annual isolation). SIRIUS experimental programs have been approved by the Commission on Biomedical Ethics.

The results of this research project have revealed a number of medical and psychophysiological risks. For example, an analysis of the medical cases of 18 crew members showed that in 49 % (34 out of 70 cases) of SIRIUS-19, 48 % (79 out of 163 cases) of SIRIUS-21, and 69 % (265 out of 382 cases), the diagnosis was based only on subjective symptoms.

Medical care during pre-flight, in spaceflight and the post-flight period should be based on the principle of evidence-based medicine using the achievements of translational medicine and integrative physiology, modified by the results of the analysis of data on medical cases in spaceflight. In order to maintain and increase the professional longevity of space crew members, it is necessary to develop comprehensive prevention strategies, including neuroprotection in space missions.

Proposals based on the obtained data were formulated for relevant organizations regarding perspective space programs for manned flights to improve medical control, medical care and medical prevention, as well as the development of a medical management system.

Isolation experiments can also be considered as one of the methods of cosmonaut training.

Russian Academy of Sciences Fundamental Research Program (Ministry of Science and Higher Education of Russia) FMFR-2024-0039.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ПРОЕКТАХ SIRIUS-19, SIRIUS-21, SIRIUS-23 НА ЖЕНСКИЙ ОРГАНИЗМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИММУННЫХ, ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Орлова К.Д., Кириченко В.В., Федяй С.О., Ниязов А.Р., Васильева Г.Ю., Комиссарова Д.В., Шмаров В.А., Куссмауль А.Р., Пономарёв С.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

unusual-ksu@yandex.ru

Наземные изоляционные эксперименты серии SIRIUS, проводившиеся Институтом медико-биологических проблем (ИМБП РАН) совместно с NASA HRP, Космическим Государством Асгардия и другими партнерами, являются основной моделью для отработки медико-биологического обеспечения космических полетов. Результаты имитации длительных космических миссий выявляют широкий спектр физиологических и психоэмоциональных изменений у испытателей-добровольцев. Большое значение придается изучению влияния факторов космического полета на женский организм, что исторически является менее изученной областью по сравнению с мужским здоровьем, так как количество летавших в космос женщин меньше в 6,7 раз. Женщины демонстрируют как общие, так и специфические реакции на условия ограниченного пространства, гиподинамии и измененного рациона. Несмотря на то, что многие риски универсальные, женская физиология нуждается в более подробном изучении и предъявляет особые требования к медицинскому сопровождению.

Был проведен анализ данных по иммунологическим, аллергологическим, физиологическим, микробиологическим и медицинским исследованиям в трех этапах изоляционного проекта в гермообъекте: SIRIUS-19 (120 суток), SIRIUS-21 (240 суток), SIRIUS-23 (366 суток). Всего в них приняло участие 10 девушек-добровольцев, средний возраст 30,5 лет.

В отношении иммунной системы в отдельных экспериментах было выявлено, что длительная изоляция снижает функциональную активность иммунокомпетентных клеток, особенно В- и NK-лимфоцитов, что может способствовать росту уязвимости организма. Наблюдалось временное угнетение некоторых функций иммунной системы с последующим их восстановлением после завершения изоляции для всех испытателей. Однако для женщин требуется индивидуальный иммунологический мониторинг с учетом гормональных колебаний, особенно в фазах менструального цикла.

Так, при сравнении показателей сопоставимых точек взятия крови по всем 3 экспериментам были выявлены достоверные изменения именно у женщин: повышение абсолютного числа лимфоцитов по сравнению с фоном, снижение содержания В-клеток с последующим ростом в течение изоляции в сравнении с фоновыми данными, а также единичные изменения для всех испытательниц численности других популяций и субпопуляций иммунокомпетентных клеток. Более сложный процесс адаптации к новым условиям у женщин и физические нагрузки могут приводить к напряжению иммунной системы и повышению содержания лимфоцитов. Снижение численности В-лимфоцитов по сравнению с фоном может быть обусловлено реакцией на факторы искусственной среды обитания и новый рацион питания. Дальнейшее же повышение в течение изоляции их количества может указывать на адаптационные перестройки в В-звене иммунитета в ответ на хронический стресс, а также в индивидуальных случаях – на аллергические реакции.

По аллергологическим исследованиям наблюдалось достоверное снижение абсолютного количества базофильных и эозинофильных гранулоцитов, относительного количества Th2 клеток после завершения изоляции по сравнению с фоном в SIRIUS-21 и SIRIUS-23 у женщин и мужчин. При этом количество медицинских обращений с аллергическими симптомами среди женщин в SIRIUS-23 было больше. В том числе у одной из испытательниц через полгода изоляции проявилась впервые выявленная стойкая контактная аллергическая реакция, которая сохраняется и после завершения эксперимента. Это указывает на комплексное негативное влияние факторов изоляции и особенности работы испытателей, так как сенсибилизация к аллергенам может проявиться в любой момент под воздействием внешних триггеров даже у ранее здоровых лиц.

Согласно данным физиологических исследований, влияние факторов 240-суточной изоляции на состав тела двух участниц выражалось в увеличении доли тощей массы при одновременном уменьшении жировой компоненты. Однако, в период последействия отмечены обратные реакции.

Дефицит витамина D – один из наиболее выраженных рисков длительной изоляции в гермообъекте. Для женщин он особенно критичен, так как напрямую влияет на гормональный баланс и минеральную плотность костей. Это повышает риск остеопении и остеопороза, особенно на фоне гиподинамии. Исследования выявляют высокую индивидуальную вариабельность потерь костной массы у участниц. Необходима профилактическая коррекция уровня витамина D еще до начала миссий, а также постоянный контроль гормонального фона и плотности костной ткани во время изоляции с учетом физических нагрузок и нутритивной поддержки.

Изоляционные миссии сопровождаются ограниченным рационом питания, основанным на консервированной и сублимированной пище, что приводит к дефициту нутриентов. Поливитамины, микроэлементы и регулярный медицинский контроль – обязательная мера профилактики осложнений. Женщинам необходима расширенная нутритивная поддержка, адаптированная к их физиологическим особенностям с учетом возможных проявлений анемии и регулярная оценка показателей крови.

Изоляция сопровождается дисбалансом вагинальной микробиоты: наблюдается снижение уровня *Lactobacillus spp.* и рост патогенной флоры, что увеличивает риск бактериального вагиноза. Персонализированные аутопробиотики, разработанные на основе собственных штаммов участниц SIRIUS-23, доказали эффективность в восстановлении микробиоты. Поддержание микробиома — ключевой элемент профилактики репродуктивных нарушений. Персонализированные биотерапевтические подходы заслуживают включения в медицинские протоколы для женского здоровья в условиях длительных миссий. Также важно предусматривать возможность гинекологических консультаций в составе медицинского обеспечения.

Нарушения сна фиксировались у большинства участников, при этом у женщин они оказывали более выраженное влияние на эмоциональное и физиологическое состояние. Учитывая высокую зависимость от циркадных ритмов и эмоциональную чувствительность, женщины демонстрируют большую подверженность тревожным реакциям. Необходима обязательная психологическая поддержка с учетом гендерной специфики, использование методов коррекции под контролем врача экипажа и телемедицинских возможностей.

Таким образом, женский организм в условиях длительной изоляции в гермообъекте и имитации космических полетов демонстрирует сложные реакции: от изменений иммунной системы до микробиомных и эмоциональных сдвигов. Несмотря на наличие общих рисков, женское здоровье требует специализированного подхода, профилактики и индивидуализированных протоколов сопровождения. Подготовка к длительным миссиям должна учитывать гормональный профиль, фазу цикла, особенности микробиоты и вариабельность костной плотности. Это критически важно для обеспечения здоровья, работоспособности и адаптивности женщин в космических полетах и в экстремальных условиях в целом.

Работа выполнена в рамках базовой тематики Института FMR-2024-0035 и FMFR-2024-0039.

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF THE EFFECTS OF PROLONGED ISOLATION IN SIRIUS-19, SIRIUS-21, SIRIUS-23 MISSIONS ON THE FEMALE BODY BASED ON IMMUNOLOGICAL, PHYSIOLOGICAL, AND MICROBIOLOGICAL STUDIES

Orlova K.D., Kirichenko V.V., Fedyai S.O., Niyazov A.R., Vasilyeva G.Yu., Komissarova D.V., Shmarov V.A., Kussmaul A.R., Ponomarev S.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

unusual-ksu@yandex.ru

The ground-based isolation experiments of the SIRIUS series, conducted by Institute of Biomedical Problems of RAS (IBMP) in collaboration with NASA HRP, The Space Nation Asgardia and other partners, serve as a primary model for developing the medical and biological support systems for space missions. The results of simulations of long-duration space missions reveal a broad range of physiological and psycho-emotional changes in the volunteer subjects. Significant emphasis is placed on studying the effects of spaceflight factors on the female body, which has historically been a less studied area compared to male health, as the number of women who have flown into space is 6,7 times smaller. Women exhibit both general and specific responses to conditions of confined space, hypodynamia, and altered diets. Although many risks are universal, female physiology requires more detailed study and presents particular challenges for medical support.

An analysis was performed on immunological, allergological, physiological, microbiological, and medical data from three stages of the isolation project in the chamber: SIRIUS-19 (120 days), SIRIUS-21 (240 days), SIRIUS-23 (366 days). A total of 10 female volunteers participated, with an average age of 30,5 years.

Regarding the immune system, individual experiments showed that prolonged isolation reduces the functional activity of immune-competent cells, especially B- and NK-lymphocytes, which may increase the organism's vulnerability. Temporary suppression of some immune functions was observed, followed by their recovery after the isolation phase ended for all participants. However, for women, individual immunological monitoring is required, considering hormonal fluctuations, particularly during different phases of the menstrual cycle.

When comparing blood sample data from the same points across all three experiments, significant changes were found specifically in women: an increase in the absolute number of lymphocytes compared to baseline, a decrease in B-cell numbers followed by an increase during isolation compared to baseline, as well as sporadic changes in the counts of other populations and subpopulations of immune cells across all female participants. The more complex adaptation process in women and physical loads may lead to immune system stress and elevated lymphocyte counts. The decrease in B-lymphocyte numbers compared to baseline could be attributed to responses to the artificial environment and new diet. The subsequent increase in lymphocyte numbers throughout the isolation period may indicate adaptive changes in the B-arm of immunity in response to chronic stress, and in some individual cases, may point to allergic reactions.

In allergological studies, a significant decrease in the absolute number of basophilic and eosinophilic granulocytes and the relative Th2-cell counts were observed after the completion of isolation compared to baseline in both women and men (SIRIUS-21 and SIRIUS-23). At the same time, the number of medical consultations for allergic symptoms was higher among women (SIRIUS-23). Notably, one of the female participants developed a persistent contact allergy reaction after six months of isolation, which persisted even after the experiment concluded. This points to the complex negative impact of isolation factors and the nature of the subjects' work, as sensitization to allergens can emerge at any time under the influence of external triggers, even in previously healthy individuals.

According to physiological studies, the impact of prolonged 240-isolation on the body composition of two participants was characterized by an increase in lean mass and a concurrent decrease in fat mass. However, during the post-experiment period, reverse reactions were noted.

Vitamin D deficiency is one of the most pronounced risks of prolonged isolation in the chamber. For women, this is especially critical, as it directly affects hormonal balance and bone mineral density, increasing the risk of osteopenia and osteoporosis, particularly in the context of hypodynamia. Studies show a high degree of individual variability in bone mass loss among participants. Preventive correction of vitamin D levels is required prior to mission commencement, as well as ongoing monitoring of hormonal balance and bone density during isolation, considering physical activity and nutritional support.

Isolation missions are accompanied by a restricted diet based on canned and freeze-dried food, which leads to nutrient deficiencies. Multivitamins, trace elements, and regular medical supervision are essential measures for preventing complications. Women require enhanced nutritional support adapted to their physiological characteristics, considering possible anemia manifestations and regular blood parameter assessments.

Isolation is also associated with an imbalance in vaginal microbiota: a decrease in Lactobacillus spp. levels and an increase in pathogenic flora, which increases the risk of bacterial vaginosis. Personalized autoprobiotics, developed using the participants' SIRIUS-23 own strains, have proven effective in restoring microbiota balance. Maintaining the microbiome is a key element in the prevention of reproductive disorders. Personalized biotherapeutic approaches deserve to be included in medical protocols for female health during long-duration missions. Furthermore, the possibility of gynecological consultations should be integrated into the medical support plan.

Sleep disturbances were reported in the majority of participants, with women experiencing a more pronounced effect on both their emotional and physiological states. Given the high dependency on circadian rhythms and emotional sensitivity, women exhibit greater vulnerability to anxiety reactions. Psychological support, considering gender-specific needs, is essential, as well as the use of corrective methods under the supervision of the crew physician and telemedicine options.

Thus, the female body in prolonged isolation conditions in the chamber and spaceflight simulations demonstrates complex responses, ranging from immune system changes to microbiomic and emotional shifts. Despite shared risks, female health requires a specialized approach, preventative measures, and individualized support protocols. Preparation for long-duration missions should account for hormonal profiles, menstrual cycle phases, microbiota characteristics, and bone density variability. This is crucial to ensure the health, performance, and adaptability of women in space missions and in extreme conditions in general.

The work was carried out within the framework of the basic topics of the Institute FMR-2024-0035 and FMFR-2024-0039.

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ХЛЕБОПЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗОЛЯЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА SIRIUS-23

Парфенова А.А.[1], Ильин В.К.[1], Некто А.А.[1], Мартиросян В.В.[2]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

[2]Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности, Москва, Россия

angelikaparfenova3@gmail.com

В рамках годового изоляционного эксперимента SIRIUS-23 (2023 г.) на базе ИМБП РАН проводилось исследование возможностей хлебопечения в условиях длительной автономной изоляции. Основной целью работы было оценить технологические, организационные и психологические аспекты приготовления хлеба в составе изолированного экипажа, а также проанализировать его роль как элемента питания и фактора поддержания благоприятного социально-психологического климата.

Введение. Питание экипажей в условиях длительных космических экспедиций должно удовлетворять не только физиологические потребности организма, но и выполнять важные социальные и эмоциональные функции. При ограниченном доступе к свежим продуктам и традиционным кулинарным процессам возникает потребность в технологиях, которые могли бы компенсировать отсутствие привычного рациона. Одним из таких процессов является приготовление хлеба – продукта, обладающего высокой культурной и психологической ценностью.

Включение хлебопечения в программу Sirius-23 было направлено на исследование:

- возможности использования ограниченного набора продуктов для приготовления хлеба;
- роли совместной кулинарной деятельности в повышении сплоченности экипажа;
- влияния свежего хлеба на субъективную удовлетворенность питанием.

Методика. В ходе эксперимента использовалась бытовая хлебопечь с возможностью программирования режимов. Продукты для приготовления (мука, дрожжи, соль, сахар, растительное масло, добавки) входили в ограниченный набор, предусмотренный условиями изоляции.

Экипаж самостоятельно разрабатывал и тестировал несколько рецептур: от базового пшеничного хлеба до вариаций с использованием сухофруктов, семян и специй. Важным аспектом стало соблюдение санитарных требований и оптимизация времени выпечки, учитывая напряженный рабочий график экипажа.

Результаты.

1. *Технологические аспекты*. Хлебопечь показала высокую надежность, однако рецептуры требовали адаптации. Ограниченность ассортимента ингредиентов стимулировала поиск оптимальных решений, что позволило расширить вариативность хлебобулочных изделий даже в условиях жесткой ресурсной экономики.

2. *Организационные аспекты*. Процесс хлебопечения был встроен в расписание экипажа и воспринимался как отдельный ритуал. Важным оказалось распределение обязанностей: одни участники отвечали за подбор рецептуры, другие — за загрузку ингредиентов, третьи — за контроль и дегустацию. Это способствовало развитию кооперации и ощущению общей причастности.

3. *Психологические аспекты*. Наиболее значимым результатом стало положительное влияние хлебопечения на эмоциональное состояние экипажа. Запах свежего хлеба воспринимался как мощный фактор психологической поддержки, вызывая ассоциации с домашней атмосферой. Совместное приготовление пищи снижало уровень стресса и помогало преодолевать однообразие длительного эксперимента.

4. *Социальное значение*. Регулярная выпечка хлеба стала важной частью досуговой активности, формируя «точку сборки» экипажа. Прием свежего хлеба ассоциировался с праздником, а дегустации способствовали обмену мнениями и улучшению коммуникаций внутри команды.

Обсуждение. Результаты эксперимента подтверждают гипотезу о том, что хлебопечение в условиях изоляции выполняет функцию не только питания, но и эмоциональной регуляции. Психологический эффект от свежего хлеба сопоставим с применением специализированных средств поддержки настроения. Кроме того, опыт Sirius-23 демонстрирует, что даже минимальные бытовые инновации могут оказывать значительное влияние на атмосферу внутри экипажа.

Практическая ценность исследования заключается в том, что подобные технологии могут быть использованы при подготовке длительных пилотируемых миссий, включая экспедиции на Луну и Марс. Создание условий для приготовления свежего хлеба позволит повысить качество жизни космонавтов, уменьшить стрессовую нагрузку и укрепить социальные связи внутри экипажа.

Заключение. Хлебопечение в условиях длительной изоляции показало высокую эффективность как технологически, так и психологически значимый процесс. Оно расширяет возможности системы питания, способствует снижению стресса, улучшает эмоциональный фон и формирует положительный социальный климат в коллективе.

Таким образом, включение хлебопечения в программу длительных космических экспедиций можно рассматривать как перспективное направление, сочетающее в себе удовлетворение физиологических потребностей и мощный психоэмоциональный эффект.

Ключевые слова: хлебопечение, изоляция, Sirius-23, питание в космосе, психологическая поддержка экипажа.

1023022800047-7-3.1.7.

STUDY OF BREAD BAKING IN THE CONTEXT OF THE SIRIUS-23 ISOLATION EXPERIMENT

Parfenova A.A.[1], Ilyin V.K.[1], Nekto A.A.[1], Martirosyan V.V.[2]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Scientific Research Institute for the Baking Industry, Moscow, Russia

angelikaparfenova3@gmail.com

As part of the year-long isolation experiment SIRIUS-23 (2023), conducted at the Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, a study was carried out on the possibilities of bread baking under conditions of prolonged autonomous isolation. The primary goal was to assess the technological, organizational, and psychological aspects of bread preparation within an isolated crew, as well as to analyze its role as a component of nutrition and as a factor in maintaining a favorable social and psychological climate.

Introduction. Nutrition in long-term space expeditions must satisfy not only the physiological needs of the human body but also perform important social and emotional functions. With limited access to fresh food and traditional culinary processes, there arises a need for technologies that can compensate for the absence of a familiar diet. One such process is bread baking, a product of high cultural and psychological value.

The inclusion of bread baking in the SIRIUS-23 program was aimed at exploring:

- the feasibility of using a limited set of ingredients for bread preparation;
- the role of joint culinary activity in enhancing crew cohesion;
- the influence of fresh bread on subjective satisfaction with food.

Methodology. A household bread maker with programmable settings was used during the experiment. The ingredients (flour, yeast, salt, sugar, vegetable oil, additives) were taken from the limited supplies provided under isolation conditions.

The crew independently developed and tested several recipes: from basic wheat bread to variations with dried fruits, seeds, and spices. An important aspect was compliance with sanitary standards and optimization of baking time, considering the crew's intense work schedule.

Results.

Technological Aspects. The bread maker demonstrated high reliability; however, recipes required adaptation. The limited variety of ingredients stimulated the search for optimal solutions, which ultimately expanded the diversity of baked products even under strict resource constraints.

Organizational Aspects. The bread-baking process was integrated into the crew's schedule and perceived as a distinct ritual. Task distribution proved important: some participants were responsible for recipe selection, others for loading ingredients, and still others for monitoring and tasting. This contributed to the development of cooperation and a shared sense of involvement.

Psychological Aspects. The most significant result was the positive influence of bread baking on the crew's emotional state. The smell of fresh bread was perceived as a powerful factor of psychological support, evoking associations with a homelike atmosphere. Collective cooking reduced stress levels and helped overcome the monotony of the prolonged experiment.

Social Significance. Regular bread baking became an important element of leisure activity, forming a "rallying point" for the crew. Eating fresh bread was associated with celebration, while tastings encouraged opinion exchange and improved communication within the team.

Discussion. The results of the experiment confirm the hypothesis that bread baking in isolation serves not only a nutritional function but also a role in emotional regulation. The psychological effect of fresh bread is comparable to the use of specialized mood-supporting interventions. Moreover, the Sirius-23 experience demonstrates that even minimal everyday innovations can significantly influence crew atmosphere.

The practical value of the study lies in the potential application of such technologies in preparing for long-duration crewed missions, including expeditions to the Moon and Mars. Creating conditions for baking fresh bread can enhance astronauts' quality of life, reduce stress, and strengthen social bonds within the crew.

Conclusion. Bread baking in long-term isolation has proven highly effective both technologically and psychologically. It expands the possibilities of the food system, reduces stress, improves emotional well-being, and fosters a positive social climate within the crew.

Thus, integrating bread baking into the program of long-duration space expeditions can be regarded as a promising approach that combines the satisfaction of physiological needs with a powerful psycho-emotional effect.

Keywords: bread baking, isolation, Sirius-23, space nutrition, crew psychological support.

1023022800047-7-3.1.7.

ВЕНУЛО-АРТЕРИОЛЯРНАЯ РЕАКЦИЯ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Пашкова Д.В., Попова Ю.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

dashapashkova1@yandex.ru

Известно, что космонавты в космическом полете сталкиваются с фактором изоляции – пребыванием в замкнутом и ограниченном пространстве, что сопровождается монотонией, высоким уровнем профессиональных нагрузок, снижением общения (Гущин В.И. и др., 2018). Стоит отметить, что нахождение в гермообъекте также связано с влиянием такого фактора, как измененная газовая среда, в которой повышено содержание диоксида углерода относительно земных условий. Все эти факторы влияют не только на психологическое, но и на физиологическое состояние человека. В связи с этим, существует необходимость в исследовании влияния длительной изоляции на различные системы организма человека. Поскольку сердечно-сосудистая система с помощью регуляторных механизмов обеспечивает реализацию адаптационных (Goswami N. et al.,2021, Baevsky R.M. et al., 2011), ее исследования в условиях длительной изоляции, в том числе, на микроциркуляторном уровне, является актуальным. Микроциркуляторное русло, являясь замыкающим звеном сердечно-сосудистой системы и осуществляя газотранспортную и обменную функции, достаточно оперативно реагирует на изменения, происходящие в окружающей среде, и является маркером изменений, происходящих в микрососудах, в том числе патологических (Zharkikh E., 2024).

Цель исследования состояла в изучении венуло-артериолярной реакции в условиях длительной изоляции.

Исследование микроциркуляторного русла входило в программу комплексного эксперимента по изучению адаптационных процессов, происходящих в организме человека при моделировании комплекса факторов космического полета в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания (SIRIUS-23), проводимого на базе Медико-технического наземного экспериментального комплекса ГНЦ РФ – ИМБП РАН. В эксперименте принимали участие 6 добровольцев (2 мужчин, 4 женщины) в возрасте от 25 до 37 лет, находившиеся в изоляции 366 суток. Все испытуемые получили допуск врачебно-экспертной комиссии ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Проведенные исследования были одобрены Комиссией по биоэтике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 643 от 07.07.2023 г.). Сценарий Миссии включал апробацию отдельных этапов экспедиции на Луну, включая выходы на поверхность спутника Земли, отработку нештатных ситуаций, а также регулярную профилактику сниженной двигательной активности экипажа в виде физических тренировок. Исследование микроциркуляторного русла осуществляли с помощью портативного лазерного анализатора «ЛАЗМА – ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА», Москва, Россия). Датчик устанавливали в область предплечья недоминантной руки на 2-3 см выше шиловидного отростка, фиксировали анализатор с помощью трубчатого эластичного бинта. Венуло-артериолярную реакцию (ВАР) оценивали с помощью венозной окклюзии (ВО). ВО является вазоконстрикторной пробой и осуществляется путем искусственного увеличения посткапиллярного давления при помощи окклюзионной манжеты, которая не препятствует притоку артериальной крови. Для этого в манжете, установленной на плече, давление нагнетается до 40 мм рт.ст. и поддерживается на этом уровне в течение 3 минут, при этом базальная перфузия, регистрируемая в коже предплечья, во время пережатия снижается. ВАР рассчитывается как отношение значения базальной перфузии до пробы к значению базальной перфузии во время пробы. Данная проба позволяет оценить венуло-артериолярную реакцию, осуществляющую регуляцию кожного кровотока и связанную с венуло-артериолряным констрикторным рефлексом. Именно венуло-артериолярным констрикторным рефлексом и объясняется снижение перфузии при пробе с ВО.

Циклограмма исследования включала в себя «ФОН» (за 3–5 дней до начала изоляции) и 7 сессий непосредственно внутри гермообъекта.

По результатам исследования ВАР обследуемые было разделены на две группы, в одну из которых вошли 4 человека, в другую – 2. В первой группе ВАР снижалась относительного фонового исследования на протяжении всей изоляции. Если в фоне этот показатель составил 29 %, то в условиях изоляции в среднем по сессиям ВАР достигал 15 %. При этом максимальное снижение отмечали во второй (68 %) и третьей (66 %) сессиях, что соответствовало второму и третьему месяцам пребывания обследуемых в условиях изоляции. Затем снова начал возрастать и в 7 сессии (12 месяц изоляционного эксперимента) показатель ВАР достиг значения в 25 %. Во второй группе показатель ВАР изменялся циклически: в 1, 3, 6 и 7 сессиях было зафиксировано увеличение относительно фонового исследования (в среднем на 15 %), во 2, 4 и 5 – снижение (35 %). Стоит отметить, что в первой группе разница между базальной перфузией до окклюзии и во время окклюзии в условиях длительной изоляции снижалась. Если в фоновом исследовании эта разница составляла 2,1 п.е., то в изоляции в среднем по сессиям – 0,6 п.е. Во второй группе эта разница также снижалась, начиная со второй сессии, однако не так сильно: в фоне составила 2,0 п.е., в изоляции – 1,3 п.е. Подобные изменения могут свидетельствовать об ослаблении венуло-артериоляорного рефлекса и, как следствие, снижении кожной регуляции.

Таким образом, в исследовании было показано, что условия длительной изоляции приводят к изменению вазомоторной функции микрососудов.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ-ИМБП РАН (FMFR-2024-0042).

VENULOARTERIOLAR RESPONSE UNDER CONDITIONS OF LONG-TERM ISOLATION

Pashkova D.V., Popova J.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

dashapashkova1@yandex.ru

It is known that astronauts in space flight face the isolation factor of being in an enclosed and confined space, which is accompanied by monotony, high professional workload, and decreased communication (Gushchin V.I.

et al., 2018). It is worth noting that being in isolation is also associated with the influence of such a factor as an altered gas environment, in which the carbon dioxide content is increased relative to terrestrial conditions. All these factors affect not only the psychological, but also the physiological state of a person. In this regard, there is a need to study the effects of prolonged isolation on various systems of the human body. Since the cardiovascular system uses regulatory mechanisms to ensure the implementation of adaptive mechanisms (Goswami N. et al., 2021, Baevsky R.M. et al., 2011), its research in conditions of prolonged isolation, including at the microcirculatory level, is relevant. The microcirculatory bed, being the last link of the cardiovascular system and carrying out gas transportation and exchange functions, reacts quite quickly to changes occurring in the environment and is a marker of changes occurring in microvessels, including pathological ones (Zharkikh E., 2024).

The purpose of the research was to study the venuloarteriolar response under conditions of prolonged isolation.

The study of the microcirculatory bed was part of the program of a comprehensive experiment to study the adaptive processes occurring in the human body when modeling a complex of factors of space flight in isolation in a hermetic object with an artificial habitat (SIRIUS-23), conducted on the basis of the Medical and Technical Ground Experimental Complex of the Scientific Research Center of the Russian Federation - IMBP RAS. The experiment involved 6 volunteers (2 men, 4 women) aged 25 to 37 years, who were isolated for 366 days. All the subjects received admission from the medical expert commission of the SSC RF - IMBP RAS. The conducted research was approved by the SSC RF – IMBP RAS Bioethics Commission (Protocol No. 643 dated 07.07.2023). The Mission scenario included testing of individual stages of the expedition to the Moon, including trips to the surface of the Earth's satellite, emergency situations, as well as regular prevention of reduced motor activity of the crew in the form of physical training. The study of the microcirculatory bed was carried out using a portable laser analyzer «LAZMA – PF» (SPE «LAZMA» Ltd, Moscow, Russia). The sensor was installed in the forearm area of the non-dominant arm 2–3 cm above the awl-shaped process, and the analyzer was fixed using a tubular elastic bandage. Venuloarteriolar response (VAR) was assessed using venous occlusion (VO). VO is a vasoconstrictor test and is performed by artificially increasing postcapillary pressure using an occlusive cuff that does not interfere with the flow of arterial blood. To do this, the pressure is pumped up to 40 mmHg in the cuff mounted on the shoulder and it is maintained at this level for 3 minutes, while the basal perfusion recorded in the forearm skin decreases during compression. The VAR is calculated as the ratio of the basal perfusion value before the sample to the basal perfusion value during the sample. This test allows us to evaluate the response, which regulates cutaneous blood flow and is associated with the venuloarteriolar constrictor reflex. It is the venuloarteriolar constrictor reflex that explains the decrease in perfusion during the VO test.

The measurements were provided in BDC period (3–5 days before the start of isolation) and 7 times inside the hermetic facility.

According to the results of the VAR study, the subjects were divided into two groups, one of which included 4 people, the other 2. In the first group, the VAR decreased relative to the BDC period throughout the isolation. If in the background this parameter was 29%, then in isolation, the average for sessions reached 15 %. At the same time, the maximum decrease was noted in the second (68%) and third (66 %) sessions, which corresponded to the second and third months of the subjects' stay in isolation. Then it began to increase again, and in the 7th session (month 12 of the isolation experiment), the VAR index reached a value of 25 %. In the second group, the VAR indicator changed cyclically: in sessions 1, 3, 6 and 7, an increase was recorded relative to the background study (by an average of 15 %), in sessions 2, 4 and 5 – a decrease (35 %). It is worth noting that in the first group, the difference between basal perfusion before occlusion and during occlusion during prolonged isolation decreased. If in the background study this difference was 2.1 PU, then in isolation it averaged 0.6 PU. In the second group, this difference also decreased starting from the second session, but not so much: in the background it was 2.0 PU, in isolation it was 1.3 PU. Such changes may indicate a weakening of the venuloarteriolar reflex and, as a result, a decrease in skin regulation.

Thus, the study showed that conditions of long-term isolation lead to changes in the vasomotor function of microvessels.

The work was carried out with the support of the SSC RF-IMBP RAS Fundamental Research Program (FMFR-2024-0042).

АДАПТАЦИОННЫЙ ОТВЕТ НЕЙРОВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ И КОЖНОГО КРОВОТОКА В УСЛОВИЯХ 12-МЕСЯЧНОГО ИЗОЛЯЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Пашкова Д.В.[1], Попова О.В.[1], Попова Ю.А.[1], Локтионова Ю.И.[2], Жарких Е.В.[2], Дунаев А.В.[2], Русанов В.Б.[1]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

[2]Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. Научно-технологический центр биомедицинской фотоники, Орёл, Россия

julija.popova@gmail.com

Исследования с участием здорового человека в гермообъектах позволяют изучить изменения различных физиологических процессов, поскольку экспериментальная окружающая среда является унифицированной в результате создания и поддержания постоянных условий. В этом аспекте несомненный интерес представляет анализ различных физиологических функций, в которых сердечно-сосудистая система (ССС) и ее регуляторные механизмы определяют динамику и стратегию адаптационного процесса к замкнутой среде обитания. В первую очередь, ССС обеспечивает энергетическую потребность структур центральной нервной системы, поддерживая ее интегративные функции. В этой связи подходы к изучению и анализу регуляторных механизмов ССС и гемоциркуляции, в том числе, на уровне микрососудистого русла (МЦР), являются наиболее информативными в плане контроля функционального состояния человека в экстремальных условиях.

Цель представленного исследования состояла в анализе нейровегетативной регуляции ССС и функционального состояния микроциркуляторного русла кожи у здоровых обследуемых в условиях 12-месячной изоляции.

Исследование проводили в рамках научного программы 365-суточного изоляционного эксперимента SIRIUS-23 (2023–2024) в наземном экспериментальном комплексе в ГНЦ РФ – ИМБП РАН с участием 6 здоровых добровольцев (2 мужчин и 4 женщины). Измерения проводили в следующие сроки эксперимента: до, во время пребывания в гермообъекте (в периоды 29–31, 87–92, 178–184, 275–282, 357–359 сутки экспериментального воздействия), а также на 9-е сутки после окончания периода изоляции. Во всех сессиях регистрацию параметров проводили в одном и том же модуле гермообъекта.

Для регистрации параметров нейровегетативной регуляции был использован комплекс для регистрации электрокардиограммы (ЭКГ) во II стандартном отведении, обработки кардиоинтервалограмм и анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) «Варикард 2.8» (ООО «РАМЕНА», Рязань, Россия). Обработка ЭКГ-сигнала и оценка нейровегетативной регуляции с анализом ВСР осуществлялись с помощью программного обеспечения «ИСКИМ-6» (ООО Рамена, г. Рязань, Россия).

Исследование МЦР проводили с помощью четырех портативных лазерных анализаторов «ЛАЗМА ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА» Москва, Россия), установленных на коже середины лба, тыльной стороны запястья, внутренней поверхности голени, и подошвенной поверхности I пальца стопы. Запись проводилась в положении лежа в течение 10 мин. Перед началом регистрации исследуемых параметров, обследуемые в течение 15 мин находились в горизонтальном положении для адаптации к условиям окружающей среды. Для расчета параметров МЦР использовали специальное программное обеспечение Lazma (ООО НПП «ЛАЗМА», Россия).

Результаты исследований были обработаны с использованием пакета прикладных программ «Statistica v.13.0» для Microsoft Windows. Набор значений первоначально зарегистрированных показателей на основе построения функциональных зависимостей преобразовывался в меньший набор производных, которые сохраняли значительный объем информации исходного набора. Были применены: дисперсионный анализ, факторный анализ; аналитические подходы теории сложных систем с построением функции чувствительности (Носовский и др., 2023). В качестве порогового значения значимости в одномерных критериях выбрано значение 0,01, а в многомерных анализах использовалось стандартное значение 0,05. Такой методологический подход позволил комплексно проанализировать нейровегетативную регуляцию и функциональное состояние МЦР в условиях 12-месячного изоляционного эксперимента и сравнить наборы показателей, имеющих разную структуру и размерность (параметры ВСР и параметры микроциркуляции) в единой системе координат, что не могло быть выявлено при анализе частных переменных.

В условиях изоляции было выявлено, что все статистически изменившиеся показатели, отражающие нейровегетативную регуляцию, были связаны с парасимпатическими модулирующими влияниями. Высокий

уровень достоверности изменения показателей, характеризующих ВСР, указывает на то, что пребывание в гермообъекте, в первую очередь, активировало регуляторные механизмы.

Результаты проведенного анализа показали, что наиболее выраженные изменения в микрогемодинамике происходили в области кожи подошвенной поверхности I пальца стопы: в условиях изоляции зафиксировано снижение базальной перфузии за счет снижения нутритивной составляющей перфузии относительно шунтовой, вероятно, обусловленное изменением активности колебательного компонента регуляции в этих условиях. Также в период изоляции наблюдалось снижение амплитуд колебаний микрососудов в пульсовом диапазоне, что свидетельствует об уменьшении притока артериальной крови в исследуемую область, поскольку интенсивность отражения пульсовой волны определяется тонусом мелких мышечных артерий.

Факторный анализ показателей ВСР и кожной микрогемодинамики выявил четыре основных фактора, которые в большей степени повлияли на изменения, происходящие в регуляции кровообращения в условиях изоляции. Ожидаемо наибольшую статистическую нагрузку составляли факторы, характеризующие механизмы регуляции гемодинамики. Они описывали, в первую очередь, влияние центральных и периферических механизмов на регуляторные процессы, отраженные в парасимпатических и симпатических модулирующих влияниях, обуславливающих суммарный эффект различных регуляторных контуров на формирование адаптационного ответа. Вместе с тем вклад в картину регуляторных изменений вносили и показатели кожного кровотока.

Можно отметить, что стратегия адаптационного процесса к условиям гермообъекта была, во многом, обусловлена пластичностью регуляторных механизмов. Анализ совокупности параметров ВСР в условиях длительной изоляции показал, что длительное пребывание в герметически замкнутом, ограниченном пространстве в контролируемых условиях не вызвал серьезных изменений функционального состояния ССС и адаптационные реакции членов экипажа являлись адекватными.

РАН FMFR-2024–0042.

ADAPTATION OF AUTONOMIC REGULATION OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM AND SKIN BLOOD FLOW IN A 12-MONTH ISOLATION EXPERIMENT

Pashkova D.V.[1], Popova O.V.[1], Popova J.A.[1], Loktionova Yu.I.[2], Zharkikh E.V.[2], Dunaev A.V.[2], Rusanov V.B.[1]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Orel State University named after I.S. Turgenev. Research & Development Center of Biomedical Photonics, Orel, Russia

julija.popova@gmail.com

Studies involving healthy humans in closed environment allow us to study changes in various physiological processes, since the experimental conditions are unified as a result of creating and maintaining constant conditions. In this aspect, the analysis of various physiological functions in which the cardiovascular system (CVS) and its regulatory mechanisms determine the dynamics and strategy of the adaptation process to a closed environment is of undoubted interest. First of all, the CVS provides the energy needs of the central nervous system structures, supporting its integrative functions. In this regard, approaches to the study and analysis of the regulatory mechanisms of the CVS and hemocirculation, including at the level of the microvascular bed, are the most informative in terms of monitoring the functional state of a person in extreme conditions.

The purpose of the presented study was to analyze the autonomic regulation of the CVS and the functional state of the microcirculatory bed of the skin in healthy subjects under 12-month isolation. The study was conducted within the framework of the scientific program of the 365-day isolation experiment SIRIUS-23 (2023–2024) in the ground-based experimental complex at the Russian Scientific Center – Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences with the participation of 6 healthy volunteers (2 men and 4 women). Measurements were carried out at the following times of the experiment: before, during stay in the closed facility (during the periods 29–31, 87–92, 178–184, 275–282, 357–359 days of experimental exposure), and also on the 9th day after the end of the isolation period. In all sessions, the parameters were recorded in the same module of the facility. To record the parameters of autonomic regulation, the Varicard 2.8 complex for recording electrocardiograms (ECG) in the II standard lead, processing cardiointervalograms and analyzing heart rate variability (HRV) (OOO RAMENA, Ryazan, Russia) was used. Processing of the ECG signal and assessment of autonomic regulation with HRV analysis were performed using the ISKIM-6 software (OOO Ramena, Ryazan, Russia). The MCR study was performed using four portable laser analyzers LAZMA PF (OOO NPP LAZMA, Moscow, Russia) installed on the skin of the middle of the forehead, the back of the wrist, the inner surface of the shin, and the plantar surface of the

toe. The recording was carried out in a lying position for 10 minutes. Before recording the studied parameters, the subjects were in a horizontal position for 15 minutes to adapt to the environmental conditions. To calculate the parameters of the skin blood flow, we used special software Lazma (LLC NPP LAZMA, Russia). The research results were processed using the Statistica v.13.0 application package for Microsoft Windows. The set of values of the initially recorded indicators based on the construction of functional dependencies was transformed into a smaller set of derivatives that retained a significant amount of information from the original set. The following were used: dispersion analysis, factor analysis; analytical approaches to the theory of complex systems with the construction of a sensitivity function (Nosovsky et al., 2023). The value of 0.01 was chosen as the threshold value of significance in univariate criteria, and a standard value of 0.05 was used in multivariate analyses. This methodological approach allowed us to comprehensively analyze autonomic regulation and the functional state of the microcirculation system under the conditions of a 12-month isolation experiment and compare sets of indicators with different structures and dimensions (HRV parameters and microcirculation parameters) in a single coordinate system, which could not be revealed when analyzing individual variables.

Under isolation conditions, it was found that all statistically changed indicators reflecting autonomic regulation were associated with parasympathetic modulating influences. The high level of reliability of changes in the indicators characterizing HRV indicates that staying in a closed facility, first of all, activated regulatory mechanisms.

The results of the analysis showed that the most pronounced changes in microhemodynamics occurred in the area of the skin of the plantar surface of the toe: under isolation conditions, a decrease in basal perfusion was recorded due to a decrease in the nutritive component of perfusion relative to the shunt one, probably due to a change in the activity of the oscillatory component of regulation under these conditions. Also, during the isolation period, a decrease in the amplitude of microvessel oscillations in the pulse range was observed, which indicates a decrease in the inflow of arterial blood into the observed area, since the intensity of the pulse wave reflection is determined by the tone of small muscle arteries.

Factor analysis of the HRV and skin microhemodynamics indicators revealed four main factors that had a greater impact on the changes occurring in the regulation of blood circulation under isolation conditions. As expected, the greatest statistical load was made up of factors characterizing the mechanisms of hemodynamic regulation. They described, first of all, the influence of central and peripheral mechanisms on regulatory processes reflected in parasympathetic and sympathetic modulating influences, causing the total effect of various regulatory circuits on the formation of the adaptive response. At the same time, skin blood flow parameters also contributed to the picture of regulatory changes. It can be noted that the strategy of the adaptation process to the conditions of the hermetic object was largely due to the plasticity of regulatory mechanisms. Analysis of the set of HRV parameters under conditions of long-term isolation showed that a long stay in a hermetically sealed, limited space under controlled conditions did not cause serious changes in the functional state of the CVS and the adaptive reactions of the crew members were adequate.

FMFR-2024–0042.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ИСПЫТАТЕЛЕЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SIRIUS-23

Переведенцев О.В., Черногоров Р.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

perevol@imbp.ru, chernogorov@imbp.ru

При выполнении межпланетных полетов, которые характеризуются усилением известных и появлением новых негативных факторов космического полета, а также более высокой степенью автономности космических экипажей, становится наиболее востребованной задача раннего выявления негативных изменений состояния здоровья. Это позволяет в кратчайшие сроки уточнить диагноз и начать адекватное лечение, что приводит к сокращению периода выздоровления и снижает отрицательные последствия заболевания.

Одним из подходов к решению этой задачи, является использование алгоритмов машинного обучения. Их способность к прогнозированию основана на умении обобщать и выделять зависимости между входными и выходными данными. Для реализации возможности предсказания каких-либо событий создаваемая математическая модель обучается на множестве ранее полученных размеченных данных и в дальнейшем может использоваться для прогнозирования на основании новых данных.

Для изучения перспектив применения такого подхода в медицинском обеспечении будущих длительных космических полетов было проведено исследование в рамках международного эксперимента SIRIUS-23. Целью исследования была оценка возможности предсказания изменений состояния здоровья членов экипажа по результатам анализа данных ежедневного медицинского контроля. Для этого осуществлялся автоматизированный сбор данных с использованием электронных анкет, которые испытатели заполняли утром и вечером, фиксируя результаты измерения витальных параметров организма и отвечая на вопросы, связанные с субъективной оценкой своего состояния.

К окончанию эксперимента были получены 4537 записей, каждая из которых включала 66 параметров, содержащих объективные и субъективные признаки. После очистки и нормирования данных был сформирован интегральный признак негативного события, который включал в себя наличие проблем с желудочно-кишечным трактом, проблемы дерматологического характера и болевые синдромы различной локализации. При этом у одного испытателя было зафиксировано менее 6 событий на сто дней эксперимента, в результате чего построить сколько-либо надежную математическую модель не удалось и эти данные были исключены из исследования. Для остальных испытателей частота событий была 0,54 ± 0,27 в сутки.

Входными данными для обучения моделей был вектор, содержащий суточные измерения по 24 параметрам, среди которых были как объективные, так и субъективные показатели.

Поиск наиболее точного и чувствительного алгоритма машинного обучения осуществлялся среди 12 классов, включавших метод опорных векторов, алгоритм градиентного бустинга, метод случайного леса и ряд других.

Оценка проводилась по двум критериям – точности и метрике F1, которая предпочтительна, когда классы не сбалансированы, позволяя сосредоточить внимание на точности положительных прогнозов и фактически положительных записей.

В результате, было выбрано два алгоритма: 1) стохастический градиентный спуск, который показал среднюю точность для 5 испытателей 82,7 % и F1 на уровне 0.75; 2) алгоритм ExtraTrees (дополнительные деревья) с точностью 82,1 % и F1 = 0.75.

Эти алгоритмы в дальнейшем использовались для имитационного моделирования по предсказанию состояния здоровья испытателей на следующие сутки в течение всего эксперимента. В результате, на 202-е сутки эксперимента модель ExtraTrees вышла на уровень средней точности 80 % и к концу эксперимента точность составляла 83 %.

Для повышения скорости обучения модели было решено обучать ее на объединенных данных всех испытателей и затем обученную модель использовать для предсказания индивидуального состояния каждого испытателя. Такая модель вышла на уровень точности 80 % на 143 сутки эксперимента и к концу эксперимента средняя точность предсказания с использованием обучения на объединенных данных также составляла 83 %.

Таким образом, использование алгоритма машинного обучения ExtraTrees позволяет предсказывать возможное ухудшение состояние здоровья за сутки до его возникновения, что может использоваться для выявления заболеваний и его лечения на самых ранних стадиях.

Работа выполнена в рамках базовой темы РАН, раздел FMFR-2024-0039.

USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS TO PREDICT THE HEALTH DYNAMICS OF SUBJECTS IN THE SIRIUS-23 EXPERIMENT

Perevedentsev O.V., Chernogorov R.V.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

perevol@imbp.ru, chernogorov@imbp.ru

When performing interplanetary flights, which are characterized by an increase in known and the emergence of new negative factors of space flight, as well as a higher degree of autonomy of space crews, the task of early detection of negative changes in health becomes most in demand. This allows you to clarify the diagnosis in the shortest possible time and begin adequate treatment, which leads to a reduction in the recovery period and reduces the negative consequences of the disease.

One of the approaches to solving this problem is the use of machine learning algorithms. Their ability to predict is based on the skill of generalizing and identifying dependencies between input and output data. To implement

the ability to predict any events, the created mathematical model is trained on a set of previously obtained labeled data and can later be used for forecasting based on new data.

To study the prospects of using this approach in the medical support of future long-term space flights, a study was conducted as part of the SIRIUS-23 international experiment. The aim of the study was to evaluate the possibility of predicting changes in the health status of crew members based on the results of analyzing data from daily medical monitoring. For this purpose, automated data collection was carried out using electronic questionnaires, which the subjects filled out in the morning and evening, recording the results of measuring the vital parameters of the body and answering questions related to a subjective assessment of their condition.

By the end of the experiment, 4,537 records were obtained, each of which included 66 parameters containing objective and subjective features. After cleaning and normalizing the data, an integral feature of a negative event was formed, which included the presence of problems with the gastrointestinal tract, dermatological problems and pain syndromes of various localizations. At the same time, one test subject recorded less than 6 events per hundred days of the experiment, because of which it was not possible to build any reliable mathematical model, and these data were excluded from the study. For the remaining test subjects, the event frequency was 0.54 ± 0.27 per day.

The input data for training the models was a vector containing daily measurements for 24 parameters, among which were both objective and subjective indicators.

The search for the most accurate and sensitive machine learning algorithm was carried out among 12 classes, including the support vector method, the gradient boosting algorithm, the random forest method and several others.

The evaluation was carried out according to two criteria – accuracy and F1 metric, which is preferable when classes are not balanced, allowing to focus on the accuracy of positive predictions and actually positive records.

As a result, two algorithms were selected: 1) stochastic gradient descent, which showed an average accuracy of 82.7 % for 5 subjects and F1 at the level of 0.75; 2) the ExtraTrees algorithm with an accuracy of 82.1 % and F1 = 0.75.

These algorithms were then used for simulation modeling to predict the health status of the test subjects for the next day throughout the experiment. As a result, on day 202 of the experiment, the ExtraTrees model reached an average accuracy level of 80%, and by the end of the experiment, the accuracy was 83%.

To increase the speed of model training, it was decided to train it on the combined data of all subjects and then use the trained model to predict the individual condition of each test subject. This model reached an accuracy level of 80% on the 143rd day of the experiment, and by the end of the experiment, the average prediction accuracy using training on combined data was also 83 %.

Thus, the use of the ExtraTrees machine learning algorithm allows predicting a possible deterioration in health a day before it occurs, which can be used to identify diseases and treat them at the earliest stages.

The work was conducted within the framework of the basic topic of the RAS, section FMFR-2024-0039.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЦКР В ПРЕДОТВРАЩЕНИИ СНИЖЕНИЯ МЫШЕЧНОГО ТОНУСА В УСЛОВИЯХ 21-СУТОЧНОЙ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ

Пономарев И.И., Абу Шелли Н.М.А., Шпаков А.В., Колотева М.И., Томиловская Е.С.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

ponom.96@mail.ru

Антиортостатическая гипокинезия (АНОГ) – это хорошо зарекомендовавший себя наземный аналог космического полета для изучения физиологических эффектов микрогравитации, в частности, мышечной атрофии, сердечно-сосудистой детренированности и потери костной массы (Pavy-Le Traon et al., 2007). В условиях микрогравитации и ее наземных моделей отсутствие механической нагрузки приводит к быстрому снижению мышечного тонуса (Amirova L. et al., 2021; Šimunič B., 2019), особенно в антигравитационных мышцах, таких как камбаловидная мышца, что приводит к значительному снижению их силы и функциональности (Narici & de Boer, 2011).

Центрифуга короткого радиуса (ЦКР) – перспективный метод профилактики, создающий ускорение «голова-ноги» (+Gz), имитируя различные уровни гравитации. Исследования показывают, что использование ЦКР может способствовать сохранению мышечной массы и функции во время постельного режима за счет периодической гравитационной стимуляции (Yang et al., 2018).

Цель: изучить эффективность ЦКР в предотвращении снижения тонуса мышц голени при 21-суточной АНОГ.

Методы. В исследовании приняло участие 17 мужчин: 12 – контрольная группа (29,8 ± 4,6 лет), 5 – группа с ЦКР (32 ± 4,06 лет). Опорную разгрузку создавали с помощью модели АНОГ (Пучкова А.А. и др., 2023) длительностью 21 день, угол наклона составлял -6 градусов. Вращения на ЦКР осуществляли в следующем режиме: на каждом этапе градиент нарастания и торможения был равен 0,01 ед./с, на первом этапе происходил разгон до перегрузки 1,27 ед., на втором этапе - разгон до перегрузки 2,06 ед., на третьем этапе – торможение до 1,27 ед. Цикл второго и третьего этапа повторяли 2 раза. Общее время воздействия составило 34 минуты. Выполнено по 6 сеансов вращения на ЦКР для каждого испытуемого на 8-е, 11-е, 14-е, 17-е и 20-е сутки АНОГ.

Для оценки мышечного тонуса использовали метод поверхностной пальпации MyotonPro (Myoton AS, Эстония). Во время измерения сенсор прибора вдавливается в кожу с небольшим усилием (0,18 Н) перпендикулярно направлению мышечных волокон исследуемой мышцы. Сенсор прибора выдает три коротких (15 мс) механических импульса стабильной силы (0,4 Н) с интервалом 1 с. Параметры, описывающие вязкоупругие свойства мышцы, рассчитывали на основе ответных колебаний. Параметры, рассчитанные по отдельным импульсам, усредняли. В данном исследовании анализировали только параметр «частота ответных колебаний» (Гц). Исследование мышечного тонуса проводили на 3-и, 6-е, 10-е, 14-е, 18-е и 21-е сутки воздействия АНОГ, а также через сутки после завершения АНОГ.

Результаты. Динамика значений частоты ответа в латеральной (ЛИМ) и медиальной (МИМ) головках икроножной мышцы в контрольной группе была схожей. Так, исходное значение в ЛИМ составило 14,45 ± 1,04 Гц, в МИМ – 15,56 ± 1,03 Гц. Достоверное снижение частоты в обеих головках регистрировалось, начиная с 10-х суток АНОГ: на 6 % – в ЛИМ и на 4 % – в МИМ, продолжаясь до 21-х суток АНОГ, достигнув снижения на 8 % в ЛИМ и на 6 % – в МИМ относительно исходного значения. На следующий день после завершения воздействия АНОГ значение частоты оставалось достоверно сниженным в обеих головках икроножной мышцы – в среднем на 8 %.

В группе с применением ЦКР исходное значение в ЛИМ составило 15,5 ± 1,04 Гц, а в МИМ – 15 ± 1,43 Гц. Достоверное снижение частоты было зарегистрировано только в МИМ, существенно позже, чем в контрольной группе: с 18-х суток АНОГ (на 8 %). Этот параметр оставался сниженным до конца воздействия (в среднем на 10 % по сравнению с исходным значением), тогда как в ЛИМ наблюдалась лишь тенденция к снижению.

Через два дня после 1-го сеанса вращений на ЦКР (к 10-м суткам АНОГ) в МИМ не наблюдалось значимых изменений по сравнению с 6-ми сутками АНОГ, а в ЛИМ отмечалась лишь тенденция к увеличению. Последующие вращения не способствовали росту частоты. Напротив, в МИМ и ЛИМ по сравнению с 10-ми сутками АНОГ с ЦКР частота ответа достоверно снизилась к 18-м (на 6 %), 21-м суткам (на 9 %) и на следующий день после завершения воздействия (на 9 %).

Проведенное исследование показало, что 21-суточная АНОГ приводит к значительному снижению мышечного тонуса в икроножной мышце, что согласуется с полученными ранее данными о негативном влиянии гипогравитации на антигравитационные мышцы. Применение ЦКР в предложенном режиме не продемонстрировало профилактического эффекта.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН (№ FMFR-2024-0033).

EFFICIENCY OF USING SCR IN PREVENTING MUSCLE TONE DECREASE UNDER CONDITIONS OF 21-DAY HEAD-DOWN BED REST

Ponomarev I.I., Abu Shelly N.M.A., Shpakov A.V., Koloteva M.I., Tomilovskaya E.S.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ponom.96@mail.ru

Head-down bed rest (HDBR) is a well-established terrestrial analogue of spaceflight for studying the physiological effects of microgravity, in particular muscle atrophy, cardiovascular deconditioning and bone loss (Pavy-Le Traon et al., 2007). In microgravity and its terrestrial models, the lack of mechanical load leads to a rapid decrease in muscle tone (Amirova L. et al., 2021; Šimunič B., 2019), especially in antigravity muscles such as the soleus, resulting in a significant decrease in their strength and functionality (Narici & de Boer, 2011).

Short-radius centrifuge (SRC) is a promising countermeasure method that creates head-to-toe acceleration (+Gz), simulating different levels of gravity. Studies show that the use of SRC can help to maintain muscle mass and function during bed rest due to intermittent gravitational stimulation (Yang et al., 2018).

Objective: to study the efficacy of SRC in preventing calf muscle tone decrease during 21-day HDBR.

Methods. The study involved 17 men: 12 – the control group (29.8 ± 4.6 years), 5 – the group with SRC (32 ± 4.06 years). Support unloading was created using the HDBR model (Puchkova A.A. et al., 2023) lasting 21 days, the angle of inclination was -6 degrees. The rotations on the SCR were performed in the following mode: at each stage, the gradient of increase and deceleration was equal to 0.01 G/s, at the first stage, acceleration to an overload of 1.27 G occurred, at the second stage - acceleration to an overload of 2.06 G, at the third stage - deceleration to 1.27 G. The cycle of the second and third stages was repeated 2 times. The total exposure time was 34 minutes. Six sessions of rotation on the SCR were performed for each subject on the 8th, 11th, 14th, 17th and 20th days of the HDBR.

The MyotonPro superficial palpation method (Myoton AS, Estonia) was used to assess muscle tone. During measurement, the device sensor is pressed into the skin with a small force (0.18 N) perpendicular to the direction of the muscle fibers of the muscle being studied. The device sensor produces three short (15 ms) mechanical impulses of stable force (0.4 N) with an interval of 1 s. The parameters describing the viscoelastic properties of the muscle were calculated based on the response oscillations. The parameters calculated for individual impulses were averaged. In this study, only the parameter «frequency of response oscillations» (Hz) was analyzed. The muscle tone study was performed on the 3rd, 6th, 10th, 14th, 18th and 21st days of HDBR exposure, as well as one day after the completion of HDBR.

Results. The dynamics of the response frequency values in the lateral (GL) and medial (GM) heads of the gastrocnemius muscle in the control group was similar. Thus, the initial value in GL was 14.45 ± 1.04 Hz, in GM – 15.56 ± 1.03 Hz. A significant decrease in the frequency in both heads was recorded starting from the 10th day of HDBR: by 6 % in GL and by 4 % in GM, continuing until the 21st day of HDBR, reaching a decrease of 8 % in GL and 6 % in GM relative to the initial value. The next day after the end of HDBR exposure, the frequency value remained significantly reduced in both heads of the gastrocnemius muscle – by 8 % on average.

In the group using the SCR, the initial value in GL was 15.5 ± 1.04 Hz, and in GM – 15 ± 1.43 Hz. A reliable decrease in frequency was recorded only in GM, significantly later than in the control group: from the 18th day of HBDR (by 8 %). This parameter remained reduced until the end of the exposure (on average by 10 % compared to the initial value), while in GL only a downward trend was observed.

Two days after the first session of rotations on the SCR (by the 10th day of HBDR), no significant changes were observed in GM compared to the 6th day of HBDR, and only a tendency to increase was noted in GL. Subsequent rotations did not contribute to an increase in the frequency. On the contrary, in GM and GL, compared to the 10th day of HBDR with SCR, the response frequency significantly decreased by the 18th (by 6 %), 21st day (by 9 %) and the next day after the end of the exposure (by 9 %).

The study showed that 21-day HDBR leads to a significant decrease in muscle tone in the gastrocnemius muscle, which is consistent with previously obtained data on the negative impact of hypogravity on antigravity muscles. The use of SCR in the proposed regimen did not demonstrate a countermeasure effect.

The work was carried out within the framework of the fundamental research program of the Russian Scientific Center – Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (No. FMFR-2024-0033).

ДИНАМИКА БАЗАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ МАРКЕРОВ ГЕНОТОКСИЧЕСКОГО СТРЕССА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Рогач Н.В., Васильева Г.Ю., Гимадиев Р.Р., Макарчев А.И., Артемьева О.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

nata.mbf@yandex.ru

Актуальность. Длительные космические миссии сопряжены с повышенным риском повреждения ДНК из-за комплекса стрессоров. Дисфункции в ответе на генотоксический стресс связаны с развитием различных патологий, включая рак, преждевременное старение и нейродегенеративные заболевания. Особое значение имеет исследование базальных (эндогенных) уровней повреждения ДНК у здоровых людей, что может отражать индивидуальные особенности репарационных систем и чувствительность к воздействию генотоксических факторов.

Цель исследования. Оценить динамику базальных уровней маркеров повреждения ДНК в 366-суточном изоляционном эксперименте SIRIUS-23.

Материалы и методы. В изоляционном эксперименте SIRIUS-23 приняли участие 6 добровольцев, обследованных в динамике. Группа включала 4 женщин и 2 мужчин, средний возраст испытуемых – 31 год. Всего для нашего исследования отобрано 14 точек, включая фоновые замеры, этапы изоляции и восстановления. Материал – венозная кровь (пробирка с ЭДТА). Количественная оценка уровня изучаемых маркеров проведена методом мультиплексного анализа с использованием набора MILLIPLEX® DNA Damage/Genotoxicity Magnetic Bead Panel (Cell Signaling Technology), Merck, Германия. Панель включала белки: γH2AX, p53, MDM2, p21, ATR, Chk1, Chk2 – ключевые маркеры различных этапов ответа на повреждение ДНК. Статистический анализ выполнен с использованием пакета SPSS 26.0.

Результаты. Анализ динамики маркеров выявил стабильность базальных уровней большинства из них. Не выявлено статистически значимых изменений в концентрациях: γH2AX – маркера двухцепочечных разрывов ДНК, p53 - центрального регулятора клеточного ответа на стресс, p21 – основного эффектора p53-зависимой остановки клеточного цикла. Уровни киназ ATR, Chk1, Chk2 (медиаторы сигнала о повреждении) так же не показали значимых изменений. При этом уровень MDM2 (убиквитин- лигаза, основной негативный регулятор белка p53) статистически значимо снижался в ходе эксперимента относительно фоновых значений. Медианный уровень MDM2 на этапе фона составила 196,5 [178; 404]. Наиболее выраженное снижение (для всех $p < 0,05$) наблюдалось в точках 13 (366 сутки изоляции) и 14 (+14 сутки, этап последействия), где медианные значения достигли 68,5 [60; 133] и 55,5 [34,5; 94] соответственно.

Заключение. Сохранение стабильных базальных уровней маркеров генотоксического стресса (γH2AX) и ключевых регуляторов (p53, p21, ATR, Chk1, Chk2) может свидетельствовать об отсутствии значительного накопления повреждений ДНК и сохранности основных механизмов репарации в условиях изоляционного эксперимента. Данная особенность позволяет оценить адаптационные резервы здоровых добровольцев до воздействия повреждающих факторов. Снижение уровня MDM2, белка-регулятора p53, может указывать на изменения в системе ответа на повреждение ДНК и клеточного стресса в условиях эксперимента (изоляция и выход). Это может отражать адаптационные механизмы или транзиторное нарушение регуляции клеточного цикла и требует дальнейшего изучения.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований РАН по теме FMFR-2024-0039.

DYNAMICS OF BASAL LEVELS OF GENOTOXIC STRESS MARKERS AT LONG-TERM ISOLATION

Rogach N.V., Vassilieva G.Yu., Gimadiev R.R., Makarchev A.I., Artemyeva O.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

nata.mbf@yandex.ru

Relevance. Long-term space missions are associated with an increased risk of DNA damage due to the aggregate of stressors. Dysfunctions in the response to genotoxic stress are associated with the development of various pathologies, including cancer, premature aging, and neurodegenerative diseases. Of particular importance is the study of basal (endogenous) levels of DNA damage in healthy individuals, which may reflect individual characteristics of repair systems and sensitivity to the effects of genotoxic factors.

Objective of the study. To evaluate the dynamics of basal levels of DNA damage markers in the 366-day isolation experiment SIRIUS-23.

Material and methods. Six volunteers examined in dynamics took part in the isolation experiment SIRIUS-23. The group included four women and two men, the average age of the subjects was 31 years. A total of 14 points were selected for our study, including background measurements, isolation and recovery stages. The material is venous blood (test tube with EDTA). Quantitative assessment of the level of the studied markers was carried out by the method of multiplex analysis using the MILLIPLEX® DNA Damage/Genotoxicity Magnetic Bead Panel kit (Cell Signaling Technology), Merck, Germany. The panel included the following proteins: γH2AX, p53, MDM2, p21, ATR, Chk1, Chk2 – key markers of various stages of the response to DNA damage. Statistical analysis was performed using the SPSS 26.0 package.

Results. Analysis of the markers dynamics revealed the stability of basal levels of most of them. No statistically significant changes were found in the concentrations of: γH2AX – a marker of double-stranded DNA breaks, p53 – the central regulator of the cellular response to stress, p21 – the main effector of p53-dependent cell cycle

arrest. The levels of kinases ATR, Chk1, Chk2 (damage signal mediators) also did not show significant changes. At the same time, the level of MDM2 (ubiquitin ligase, the main negative regulator of the p53 protein) statistically significantly relative to the background values decreased during the experiment. The median level of MDM2 at the background stage was 196.5 [178; 404]. The most pronounced decrease (for all $p < 0.05$) was observed at points 13 (366 days of isolation) and 14 (+14 days, aftereffect stage), where the median values reached 68.5 [60; 133] and 55.5 [34.5; 94], respectively.

Conclusion. Maintaining stable basal levels of genotoxic stress markers (γH2AX) and key regulators (p53, p21, ATR, Chk1, Chk2) may indicate the absence of significant accumulation of DNA damage and the preservation of the main repair mechanisms under the isolation experiment conditions. This feature allows to assess the adaptive reserves of healthy volunteers before exposure to damaging factors. A decrease in the level of MDM2, a p53 regulatory protein, may indicate changes in the DNA damage response system and cellular stress under the experimental conditions (isolation and exit). This may reflect adaptive mechanisms or transient disruption of cell cycle regulation and requires further study.

Key words: isolation, DNA damage, multiplex assay, γH2AX, p53, MDM2, p21, ATR, Chk1, Chk2

The work was carried out within the framework of the fundamental scientific research program of the Russian Academy of Sciences on the topic FMFR-2024-0039.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕРМОКАМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАЗНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Рожкова Г.И.[1], Зуева М.В.[2], Манько О.М.[3], Грачева М.А.[1], Белокопытов А.В.[1], Алескеров А.М.[3]

[1]Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук (ИППИ РАН), Москва, Россия
[2]НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца Минздрава России, Москва, Россия
[3]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

gir@iitp.ru

Введение. С 2017 г. в Институте медико-биологических проблем РАН была проведена серия изоляционных экспериментов SIRIUS разной длительности: 17 дней, 4 месяца, 8 месяцев, 1 год. Эксперименты отличались и по сценарию внутрибортовой деятельности, и по нагрузке на членов экипажа. В состав экипажа в каждом эксперименте серии входило по 6 человек (3 женщины и 3 мужчин).

Цель. Анализ итогов исследования психофизиологических функций зрительной системы в серии изоляционных экспериментов разной продолжительности для планирования дальнейших изоляционных экспериментов.

Описание методов. При выборе методов оценки психофизиологических зрительных функций ставилась задача использовать комплекс показателей, отвечающий следующим критериям:

– состоящий из неинвазивных процедур;
– дающий разностороннее представление о состоянии зрительной системы испытуемых;
– не требующий слишком большого времени для проведения измерений.

В первом эксперименте серии – 17-дневной изоляции – оценивался широкий ряд показателей зрительной системы: рефракция, острота зрения (ОЗ) (для расстояний 0.5, 1.0, 4.0 м; монокулярно и бинокулярно, с использованием двух разных оптотипов), характер зрения, глазодоминантность, стереоострота зрения, фузионные резервы (дивергентные и конвергентные) и объем относительной аккомодации с использованием набора линз. В ходе самой изоляции, т.е. внутри гермокамеры, оценивали только показатели ОЗ, остальные измерения проводили перед началом и после изоляции.

Для 4-месячной изоляции набор исследуемых параметров был существенно сокращен, однако все исследуемые показатели оценивались не только до и после, но и каждые две недели утром и вечером внутри гермокамеры. Помимо группы экипажа, в исследовании участвовала уравненная по поло-возрастному составу контрольная группа испытателей. Оценивались рефракция глаза, ОЗ (число оптотипов было сокращено до одного, проводилась только монокулярная оценка на всех трех расстояний – 0.5; 1.0; 4.0 м), аккомодация (методом непрерывной аккомодографии, заменившей использованный ранее метод оценки объема аккомодации), КЧСМ (критическая частота слияния мельканий) и ЧКХ (частотно-контрастная характеристика).

В случае 8-месячной изоляции из списка ранее оцениваемых показателей были удалены рефракция и ЧКХ, оказавшиеся наименее информативными, убрано промежуточное расстояние измерения для ОЗ (1.0 м) и добавлены новые тесты. Оценивались следующие показатели: ОЗ (монокулярно, для расстояний 0.5 и 4.0 м), аккомодация, КЧСМ, цветовосприятие с использованием теста CAD, ЭЧиЛ (электрическая чувствительность и лабильность зрительного нерва). Все перечисленные показатели оценивались только до и после изоляции.

Для изоляционного эксперимента длительностью 1 год набор оцениваемых показателей полностью повторял набор для 8-месячной изоляции.

Результаты. Результаты оценки зрительной системы различались в зависимости от длительности изоляции, однако некоторые показатели были более информативны и стабильны. Например, снижение ОЗ было выявлено и в 17-суточной (для всех трех расстояний), и в 8-месячной (для 0.5 м), и в 1-годичной (для 0.5 м) изоляции. ОЗ для близи может существенно зависеть от аккомодационной функции, и в нашем случае согласованные изменения этих показателей были выявлены в 8-месячной и 1-годичной изоляции.

Показатель КЧСМ статистически значимо повышался в 4- , 8-месячной 1-годичной изоляциях, при этом в 4-месячном этапе было показано различие динамики КЧСМ между группами экипажа и контрольной группой. Другой динамический показатель – ЭЧиЛ – показал снижение порогов в 8- и 12-месячной изоляциях.

Исследование цветовосприятия проводилось по красно-зеленой и желто-синей осям (в наших условиях эксперимента вторая представляет больший интерес). Изменения были выявлены только для одного испытателя в 8-месячном этапе эксперимента.

Важно отметить, что использование контрольной группы и оценка показателей внутри изоляции в 4-месячном этапе эксперимента, показали хорошие результаты, однако они существенно повышают организационную нагрузку и увеличивают трудозатраты для экипажа и исследователей. Поэтому для более длительных экспериментов, 8-месячной и годичной изоляции, организация таких измерений оказалась невозможной.

Обсуждение. В ходе данной серии экспериментов был отобран минимальный информативный набор показателей, для оценки состояния зрительной системы членов экипажа. Во всех сериях экспериментов у испытуемых измеряли ОЗ как интегральный показатель, снижение которого сказывается на выполнении практически любых зрительных тестов. В связи с важностью получения максимально точных данных по ОЗ, для измерений использовали разработанную в ИППИ РАН компьютерную программу для оценки ОЗ специальными оптимизированными оптотипами.

Общий анализ обнаруженных измерений и тенденций указывает на перспективность расширения или модификации списка измеряемых показателей за счет динамических и когнитивных тестов, таких как ОЗ для движущихся тест-объектов, экспозиционная ОЗ, верньерная ОЗ, показатели краудинг-эффекта, показатели аккомодационно-конвергентной связи, характер взаимодействия различных зрительных механизмов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гос. задания ИМБП НИР РАН тема № FVFR-2024-0034 (1023022700092-0-3.1.4.;1.9; 5.1.1.) и гос. задания ИППИ РАН (НИОКТР Тема № 1.2.1-0028/24, регистрационный номер 1021061609839-4-1.2.1;1.6.23 от 18 апреля 2023 г.).

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DATA ON VISUAL SYSTEM FUNCTIONING OBTAINED IN ISOLATION EXPERIMENTS OF VARIOUS DURATION

Rozhkova G.I.[1], Zueva M.V.[2], Manko O.M.[3], Gracheva M.A.[1], Belokopytov A.V.[1], Aleskerov A.M.[3]

[1]Institute for Information Transmission Problems (Kharkevich Institute) Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Gelmholtz National Medical Research Center of the Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia
[3]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

gir@iitp.ru

Introduction. Since 2017, the Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences has conducted a series of SIRIUS isolation experiments of varying durations: 17 days, 4 months, 8 months, and 1 year. The experiments differed in terms of both the scenario of onboard activities and the workload on the crew members. The crew in each experiment of the series consisted of 6 people (three women and three men).

Objective. To analyze the results of the study of the psychophysiological functions of the visual system in a series of isolation experiments of varying duration for the purpose of planning further isolation experiments.

Description of methods. When selecting methods for assessing psychophysiological visual functions, the task was to use a set of indicators that met the following criteria:

– consisting of non-invasive procedures;

– providing a comprehensive picture of the state of the visual system of the subjects;

– not requiring too much time to perform measurements.

In the first experiment of the series—17 days of isolation—a wide range of indicators of the visual system were assessed: refraction, visual acuity (VA) (for distances of 0.5, 1.0, 4.0 m; monocular and binocular, using two different optotypes), visual characteristics, eye dominance, stereoscopic acuity, fusion reserves (divergent and convergent), and relative accommodation range using a set of lenses. During the isolation itself, i.e., inside the airlock, only the OZ indicators were assessed; the other measurements were taken before the start and after the isolation.

For the 4-month isolation period, the set of parameters studied was significantly reduced, but all indicators were assessed not only before and after, but also every two weeks in the morning and evening inside the airlock. In addition to the crew group, a control group of test subjects matched for gender and age participated in the study. Eye refraction, visual acuity (the number of optotypes was reduced to one, only monocular assessment was performed at all three distances - 0.5; 1.0; 4.0 m), accommodation (using continuous accommodography, which replaced the previously used method of assessing accommodation volume), CFC (critical fusion frequency), and FCC (frequency-contrast characteristic).

In the case of 8-month isolation, refraction and FCC, which proved to be the least informative, were removed from the list of previously assessed indicators, the intermediate measurement distance for OZ (1.0 m) was removed, and new tests were added. The following indicators were assessed: OZ (monocular, for distances of 0.5 and 4.0 m), accommodation, KCHS, color perception using the CAD test, ECHL (electrical sensitivity and lability of the optic nerve). All of the above indicators were assessed only before and after isolation.

For the 1-year isolation experiment, the set of indicators assessed was identical to that for the 8-month isolation experiment.

Results. The results of the visual system assessment varied depending on the duration of isolation, but some indicators were more informative and stable. For example, a decrease in VA was detected in 17-day (for all three distances), 8-month (for 0.5 m), and 1-year (for 0.5 m) isolation. The OZ for near vision can significantly depend on the accommodative function, and in our case, consistent changes in these indicators were detected in 8-month and 1-year isolation.

The KCHS indicator increased statistically significantly in 4- 8-month, and 1-year isolation periods, with a difference in KCHS dynamics between the crew and control groups observed in the 4-month period. Another dynamic indicator, ECHL, showed a decrease in thresholds in 8- and 12-month isolation periods.

The color perception study was conducted on the red-green and yellow-blue axes (in our experimental conditions, the latter is of greater interest). Changes were detected for only one tester in the 8-month stage of the experiment.

It is important to note that the use of a control group and the assessment of indicators within the isolation during the 4-month stage of the experiment showed good results, but they significantly increase the organizational burden and labor costs for the crew and researchers. Therefore, for longer experiments, such as 8-month and 1-year isolation, it was impossible to organize such measurements.

Discussion. During this series of experiments, a minimum informative set of indicators was selected to assess the state of the visual system of the crew members. In all series of experiments, the subjects' visual acuity was measured as an integral indicator, the decrease of which affects the performance of virtually any visual test. Due to the importance of obtaining the most accurate data on visual acuity, a computer program developed at the Institute of Psychology and Psychology of the Russian Academy of Sciences was used for measurements to assess visual acuity with special optimized optotypes.

A general analysis of the measurements and trends found indicates the promise of expanding or modifying the list of measured indicators by adding dynamic and cognitive tests, such as visual acuity for moving test objects, exposure visual acuity, vernier visual acuity, crowding effect indicators, accommodation-convergence connection indicators, and the nature of the interaction of various visual mechanisms.

The research was conducted with financial support from the state task of the IMBP RAS research project, topic No. FVFR-2024-0034 (1023022700092-0-3.1.4.;1.9; 5.1.1.) and the state assignment of the IPPI RAS (NIOKTR Topic No. 1.2.1-0028/24, registration number 1021061609839-4-1.2.1;1.6.23 dated April 18, 2023).

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ КАК СРЕДСТВА КОРРЕКЦИИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В СИСТЕМЕ КРОВИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НЕВЕСОМОСТИ

Рохмистрова Е.Г., Куканова О.В., Девяткова Н.С., Лабынцева О.М.

Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ экспериментальной физики, Саров, Россия

rohmis@mail.ru

Во время космического полета организм человека испытывает воздействие ряда неблагоприятных факторов, одним из которых является невесомость. Пребывание в условиях невесомости приводит к патологическим сдвигам в различных системах организма, в том числе в системе крови. Известно, что к негативным последствиям невесомости относится развитие признаков анемии. Основными методами лечения анемии, развивающейся после космических полетов, являются физические упражнения и прием лекарственных препаратов. В настоящее время остается актуальным поиск и апробация новых эффективных средств реабилитации человека в послеполетный период. Одним из таких средств может служить низкоинтенсивное низкочастотное магнитное поле.

В работе представлены результаты исследований импульсного низкочастотного (до 100 Гц) низкоинтенсивного (до 3,5 мТл) магнитного поля (НМП) в качестве средства коррекции неблагоприятных последствий состояния невесомости в системе крови.

Моделирование состояния невесомости осуществляли по стандартной модели 14-суточного антиортостатического вывешивания животных. Коррекцию негативных последствий невесомости проводили НМП с максимальным значением магнитной индукции 2,12 мТл в экспозиции по 30 минут ежедневно в течение 3 суток.

Исследования проведены на белых беспородных крысах-самцах с массой тела 200–240 граммов, разделенных на 3 группы по 7 особей в каждой. Группа I – контрольная (интактная), группы II и III – экспериментальные – моделирование невесомости с последующим воздействием НМП, причем для группы II воздействие магнитного поля было мнимым (соблюдались условия экспонирования без включения магнитогенератора). Оценку биологических эффектов проводили по показателям красной крови лабораторных животных через 24 часа после последнего воздействия.

В крови животных II группы наблюдали снижение относительно контроля количества эритроцитов, содержания гемоглобина в крови и гематокритной величины на 23 % (p£0,001), 12 % (p£0,01) и 12 % (p£0,001) соответственно, при этом количество ретикулоцитов возросло на 60 % (p > 0,05). Наблюдаемые изменения свидетельствуют о развитии анемии. Помимо этого отмечено нарушение реологических свойств крови: вязкость крови снижалась на 29 % (p£0,01), а СОЭ увеличивалось в 5,7 раза (p£0,001) по сравнению с контрольным уровнем.

При сравнении с контрольными значениями у животных III группы выявлено снижение количества эритроцитов, содержания гемоглобина в крови и гематокритной величины на 18 % (p£0,001), 14 % (p£0,01) и 9 % (p£0,01) соответственно, тогда как количество ретикулоцитов было выше в 2 раза (p£0,01). Реологические показатели крови соответствовали контрольным значениям.

Уровни гематологических показателей III группы животных отличались от аналогичных значений II группы: количество ретикулоцитов было больше на 55 % (p£0,01), вязкость крови – на 17 % (p£0,01), а СОЭ ниже на 97 % (p£0,01). Это позволяет говорить об активизации гемопоэза и нормализации реологических свойств крови после воздействия НМП.

Таким образом, воздействие НМП оказывает нормализующее действие на реологические свойства крови и способствует активизации гемопоэза, что является обоснованием возможности применения низкоинтенсивного импульсного магнитного поля в качестве средства коррекции неблагоприятных изменений в системе крови, вызываемых невесомостью.

Заказ Всероссийского НИИ экспериментальной физики.

POSSIBILITY OF APPLICATION OF LOW-INTENSITY PULSED MAGNETIC FIELD AS A MEANS OF CORRECTION OF UNFAVORABLE CHANGES IN THE BLOOD SYSTEM DURING WEIGHTLESSNESS SIMULATION

Rohmistrova E.G., Kukanova O.V., Devyatkova N.S., Labintseva O.M.

Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics, Sarov, Russia

rohmis@mail.ru

During space flight, the human body is exposed to a number of unfavorable factors, one of which is weightlessness. Staying in zero gravity conditions leads to pathological shifts in various body systems, including the blood system. It is known that the negative consequences of weightlessness include the development of signs of anemia. The main methods of treating anemia that develops after space flights are physical exercise and taking medications. At present, the search for and testing of new effective means of human rehabilitation in the post-flight period remains relevant. One of such means can be a low-intensity low-frequency magnetic field.

The paper presents the results of studies of a pulsed low-frequency (up to 100 Hz) low-intensity (up to 3.5 mT) magnetic field (LF-MF) as a means of correction the adverse effects of weightlessness in the blood system.

Simulation of the weightlessness was carried out according to the standard model of 14-day antiorthostatic hanging of animals. Correction of the negative consequences of weightlessness was carried out by LF-MF with a maximum magnetic induction value of 2.12 mT in the exposure of 30 minutes daily for 3 days.

The studies were conducted on white male mongrel rats with body weight 200 – 240 grams, divided into 3 groups of 7 individuals each. Group I - control (intact), groups II and III - experimental - simulation of weightlessness with subsequent exposure to LF-MF, and for group II the impact of magnetic field was imaginary (conditions of exposure without switching on the magnet generator were observed). The biological effects were assessed by the red blood indices of laboratory animals 24 hours after the last exposure.

In the blood of animals of group II there was observed a decrease in the number of RBC, hemoglobin level and hematocrit value by 23 % ($p \leq 0{,}001$), 12 % ($p \leq 0{,}01$) and 12 % ($p \leq 0{,}001$), respectively, while the number of reticulocytes unreliable increased by 60 %. The observed changes indicate the development of anemia. In addition, the blood rheological properties were disturbed: blood viscosity decreased by 29 % ($p \leq 0{,}01$), and ESR increased by 5.7 times ($p \leq 0{,}001$) in comparison with the control level.

When compared with the control values, animals of group III showed a decrease in the number of RBC, hemoglobin content and hematocrit value by 18 % ($p \leq 0.001$), 14 % ($p \leq 0.01$) and 9 % ($p \leq 0.01$), respectively, while the number of reticulocytes was 2 times higher ($p \leq 0.01$). Blood rheological parameters corresponded to the control values.

The levels of hematological parameters of animals of group III differed from similar values in group II: the number of reticulocytes was 55 % higher ($p \leq 0.01$), blood viscosity was by 17 % higher ($p \leq 0.01$), and ESR was 97 % lower ($p \leq 0.01$). This allows us to talk about the activation of hematopoiesis and normalization of the rheological properties of blood after exposure to LF-MF.

Thus, the impact of LF-MF has a normalizing effect on the rheological properties of blood and promotes the activation of hematopoiesis, which is the justification for the possibility of using a low-intensity pulsed magnetic field as a means of correcting adverse changes in the blood system caused by weightlessness.

Order of the All-Russian Research Institute of Experimental Physics.

ВЕГЕТАТИВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА В ГИПОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЯХ ПОСЛЕ МОДЕЛИРУЕМОЙ 12-МЕСЯЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Русанов В.Б., Попова О.В., Орлов О.И.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

olya.popovaolga2710@yandex.ru

Важной составляющей существования всех живых систем Земли является геомагнитное поле (ГМП). Человек не только сталкивается с гипомагнитными условиями (ГМУ) и на Земле, но и сам их создает, например, на производственных и военных объектах, в зданиях и сооружениях, имеющих толстые бетонные

или металлические стены (Sinčák, Sedlakova-Kadukova, 2023). Благодаря повышению внимания к данной проблеме информация о влиянии ГМУ на организмы, полученная в ходе научных работ, может быть использована не только в космической физиологии, но и в биомедицинских исследованиях для повышения качества жизни населения (Taletaviciene et al., 2021).

Функциональные изменения, обусловленные редукцией ГМП, отмечаются в дыхательной, нервной, иммунной, репродуктивной и кровеносной системах (Gurfinkel et al., 2018). Наиболее существенные дисфункциональные преобразования проявляются в работе центральной нервной (ЦНС) и сердечно-сосудистой (ССС) системах (Luchitskaya et al., 2024), усугубляя существующие или провоцируя новые патофизиологические процессы. Так, в ГМУ, обнаружены значительные изменения вариабельности сердечного ритма (ВСР), кровяного давления, частоты сердечных сокращений (ЧСС), уровня мелатонина и гормонального баланса, которые приводят к снижению эффективности функционирования организма в целом (Breus et al., 2012; Vencloviene et al., 2017).

В космическом полете (КП) на борту Международной космической станции недостаток таких исследований связан прежде всего с тем, что ее орбита находится на расстоянии около 400 км от поверхности земли, на такой высоте сила ГМП снижена незначительно и близка к наземным значениям (DeVirgiliis L. et al., 2025). В результате, до недавнего времени ученые не ставили перед собой задачу по изучению действия ГМУ на живые объекты. Однако, например, исследование Otsuka K. et al., 2019 показало, что изменения магнитного поля в КП могут влиять на показатели ССС, связанные с замедлением старения или долголетием.

В связи с этим в рамках проекта SIRIUS (Scientific International Research in Unique Terrestrial Station) было проведено комплексное изучение влияния моделированных ГМУ на физиологические системы организма человека. В этом фрагменте представлены полученные нами результаты относительно механизмов вегетативной регуляции ССС системы человека в гипомагнитных условиях до изоляционного воздействия на заключительных этапах моделируемой 12-месячной изоляции.

В исследовании влияния ГМУ на организм принимали участие все 6 добровольцев (2 мужчин, 4 женщины), находившихся в гермообъекте (возраст от 25 до 37 лет) и получивших допуск врачебно-экспертной комиссии ГНЦ РФ – ИМБП РАН, с учетом условий моделирования ГМУ и методов исследования, использованных нами. Кроме того, все исследования были одобрены Комиссией по биоэтике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 643 от 07.07.2023 г.).

ГМУ моделировались на – (2–4) сутки до помещения добровольцев в гермообъект и на заключительном этапе изоляции (346–350-е сутки пребывания в гермообъекте).

Для каждого добровольца было проведено две экспозиции по 4 часа с воздействием ГМУ в системе моделирования магнитных полей– установке «Арфа» (Kukanov V. Yu. et al., 2023). Средние значения магнитного поля за сессии составляли 0,113 ± 0,062 мкТл.

На протяжении всего пребывания в установке у каждого добровольца производилась непрерывная регистрация электрокардиограммы (ЭКГ). Для регистрации использовали аппаратно-программный комплекс «Варикард 2.8» в состав которого входил носимый ЭКГ-регистратор электрокардиограммы с частотой дискретизации 1000 Гц на канал, что давало временное разрешение 1 мс и программа анализа кардиоинтервалов «ИСКИМ-6» (ООО Рамена, г. Рязань, Россия). Полученный ЭКГ-сигнал редактировался с использованием визуальной проверки и ручной коррекции отдельных интервалов RR и классификации QRS-комплексов. Аномальные комплексы, не вызванные деполяризацией синоатриального (СА) узла, исключались из записи. Запись сохранялась для последующей автономной обработки.

По результатам исследования основные показатели, характеризующие вегетативные модулирующие влияния на ССС изменялись в ГМУ следующим образом. По сравнению с фоном как у женщин, так и у мужчин ЧСС была выше при снижении ГМП. Противоположная динамика наблюдалась для показателя, отражающего парасимпатическое вегетативное влияние на ритм сердца – pNN50 (%), снижение значений которого может свидетельствовать о нестабильности парасимпатической активности во время пребывания в ГМУ. Исходно, до помещения в гермообъект, в спектральном анализе ритма сердца у мужчин в суммарной мощности спектра (TP, мс2) доминировал низкочастотный компонент (LF, мс2). В условиях ГМУ также было отмечено его преобладание. Вместе с тем во время обеих экспозиций наблюдался рост очень низкочастотного компонента – VLF (мс2), и резкое снижение высокочастотного компонента спектра (HF,мс2). У женщин до начала изоляции преобладал высокочастотный компонент спектра, выраженность которого снижалась при пребывании в ГМУ. Показатели VLF(мс2) и LF(мс2) также же, как и у мужчин в обеих экспозициях возрастали и преобладали в суммарной мощности спектра.

При просмотре записей ЭКГ у женщин были обнаружены эпизоды тахикардии, а также выявлены нарушения сердечного ритма в виде экстрасистол желудочкового и предсердного происхождения. В записях ЭКГ, сделанных до изоляции в ГМУ нарушения ритма сердца, не были обнаружены.

Таким образом, в ГМУ после нахождения в условиях 12-месячной изоляции со постоянными условиями окружающей среды в замкнутом гермообъекте, нами был выявлен более реактивный ответ регуляторных вегетативных механизмов, в частности, на СА узел у женщин по сравнению с мужчинами.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН (FMFR-2024-0042).

AUTONOMIC REGULATION OF THE HUMAN CARDIOVASCULAR SYSTEM IN HYPOMAGNETIC CONDITIONS AFTER A SIMULATED 12-MONTH ISOLATION

Rusanov V.B., Popova O.V., Orlov O.I.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

olya.popovaolga2710@yandex.ru

An important component of the existence of all living systems of the Earth is the geomagnetic field (GMF). Humans not only encounter hypomagnetic conditions (HMC) on Earth, but also create them themselves, for example, at industrial and military facilities, in buildings and structures with thick concrete or metal walls (Sinčák, Sedlakova-Kadukova, 2023). Due to increased attention to this problem, information about the effects of HMCs on organisms obtained in the course of scientific work can be used not only in space physiology, but also in biomedical research to improve the quality of life of the population (Taletaviciene et al., 2021).

Functional changes due to GMF reduction are noted in the respiratory, nervous, immune, reproductive, and circulatory systems (Gurfinkel et al., 2018). The most significant dysfunctional transformations are manifested in the central nervous system (CNS) and cardiovascular system (CVS) (Luchitskaya et al., 2024), exacerbating existing or provoking new pathophysiological processes. Thus, in HMC, significant changes in heart rate variability (HRV), blood pressure, heart rate (HR), melatonin levels and hormonal balance were found, which lead to a decrease in the efficiency of the functioning of the body as a whole (Breus et al., 2012; Vencloviene et al., 2017).

In space flight (SF) aboard the International Space Station, the lack of such research is primarily due to the fact that its orbit is located at a distance of about 400 km from the earth's surface, at such an altitude the strength of the GMF is slightly reduced and is close to ground values (DeVirgiliis L. et al., 2025). As a result, until recently, scientists had not set themselves the task of studying the effects of HMCs on living objects. However, for example, a study by Otsuka K. et al., 2019 showed that changes in the magnetic field in the CP can affect cardiovascular parameters associated with slowing aging or longevity.

In this regard, the SIRIUS (Scientific International Research in Unique Terrestrial Station) project conducted a comprehensive study of the effect of simulated HMCs on the physiological systems of the human body. This fragment presents the results we have obtained regarding the mechanisms of autonomic regulation of the human cardiovascular system under hypomagnetic conditions before the isolation effect at the final stages of the simulated 12-month isolation.

The study of the effect of HMC on the body involved all 6 volunteers (2 men, 4 women) who were in a hermetic facility (aged 25 to 37 years) and were admitted by the medical expert commission of the SSC RF - IMBP RAS, taking into account the conditions of HMC modeling and the research methods used by us. In addition, all studies were approved by the SSC RF – IMBP RAS Bioethics Commission (Protocol No. 643 dated 07.07.2023).

HMC was modeled on (2–4) days before the volunteers were placed in a hermetic facility and at the final stage of isolation (346–350 days of stay in a hermetic facility).

For each volunteer, two exposures of 4 hours each were carried out with HMC exposure in the Arfa magnetic field modeling system (Kukanov V. Yu. et al., 2023). The average values of the magnetic field during the session were 0.113 ± 0.062 μT.

Throughout their stay in the facility, each volunteer underwent continuous electrocardiogram (ECG) recording. For registration, the Varikard 2.8 hardware and software package was used, which included a wearable ECG recorder with a sampling frequency of 1000 Hz per channel, which gave a time resolution of 1 ms, and the ISKIM-6 cardiointerval analysis program (Ramena LLC, Ryazan, Russia). The received ECG signal was edited using visual verification and manual correction of individual RR intervals and classification of QRS complexes. Abnormal complexes not caused by depolarization of the sinoatrial (SA) node were excluded from the recording. The recording was saved for subsequent offline processing.

According to the results of the study, the main indicators characterizing the vegetative modulating effects on the cardiovascular system changed in the HMC as follows. Compared to the background, both women and men

had a higher HR with a decrease in GMF. The opposite dynamics was observed for the indicator reflecting the parasympathetic autonomic influence on the heart rhythm – pNN50 (%), a decrease in which values may indicate instability of parasympathetic activity during stay at HMC. Initially, before being placed in a hermetic object, the low-frequency component (LF, mc2) dominated in the spectral analysis of the male heart rate in the total power of the spectrum (TP, mc2). Its predominance was also noted in the conditions of HMC. However, during both exposures, there was an increase in the very low–frequency component, VLF (mc2), and a sharp decrease in the high-frequency component of the spectrum (HF,mc2). Before the start of isolation, the high-frequency component of the spectrum prevailed in women, the severity of which decreased during their stay at the HMC. The VLF(mc2) and LF(mc2) values increased as well as in men in both exposures and dominated the total power of the spectrum.

When viewing ECG recordings, episodes of tachycardia were detected in women, as well as cardiac arrhythmias in the form of extrasystoles of ventricular and atrial origin. No cardiac arrhythmias were found in the ECG recordings made before isolation at the HMC.

Thus, in HMC, after being isolated for 12 months with constant environmental conditions in a closed hermetic facility, we revealed a more reactive response of regulatory vegetative mechanisms, in particular, to the SA node itself in women compared to men.

The work was carried out with the support of the SSC RF-IMBP RAS Fundamental Research Program (FMFR-2024-0042).

ДИНАМИКА КОРТИКОСПИНАЛЬНОЙ И СПИНАЛЬНОЙ ВОЗБУДИМОСТИ В ХОДЕ И ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ 14-СУТОЧНОЙ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ

Рябова А.М., Бекренева М.П., Курбанова О.Э., Гайнутдинова Э.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

aleksriabova@yandex.ru

В космическом полете, под влиянием отличных от земных условий среды, в организме человека происходят адаптационные процессы, приводящие к изменениям в функционировании различных систем. Поскольку космические полеты имеют большую продолжительность, изучение острых адаптационных эффектов часто проводят в наземных условиях при моделировании факторов космического полета. Например, для оценки работы сенсомоторной системы моделируют наиболее влияющую на нее опорную и двигательную разгрузку (Saveko et al., 2023). При этом до сих пор остаются малоизученными механизмы перехода от острой фазы адаптации к хронической, который обычно происходит после 7 суток полета (Kornilova, Kozlovskaya, 2003).

Целью данной работы являлось исследование изменений кортикоспинальной и спинальной возбудимости в условиях 14-суточной «сухой» иммерсии (СИ) — модели, которая за счет опорной разгрузки позволяет воспроизвести физиологические эффекты воздействия микрогравитации на организм человека (Tomilovskaya et al., 2019). В исследовании приняли участие 8 здоровых мужчин-добровольцев (средний возраст 32 ± 6,2 года). Возбудимость нервной системы оценивали по значениям порогов вызванных моторных ответов (ВМО) камбаловидной и икроножной (латеральной головки) мышц голени правой ноги. Мышечные ответы вызывали с помощью транскраниальной и трансспинальной магнитной стимуляции (МС). Сессии МС проводили трижды до начала СИ, после первой недели СИ (на 8-е сутки воздействия), после второй недели СИ (в день завершения воздействия) и на 2-е и 4-е сутки периода восстановления. ВМО на транскраниальную стимуляцию далее обозначены как «кВМО», на трансспинальную стимуляцию — «сВМО».

После первой недели воздействия СИ наблюдали снижение порогов ВМО обеих мышц. Пороги кВМО снизились относительно фоновых значений на 6,7 ± 3,0 % в камбаловидной мышце и на 5,0 ± 3,6 % в икроножной мышце. Пороги сВМО снизились относительно исходных значений на 13,5 ± 3,3 % в камбаловидной мышце и на 11,6 ± 1,9 % — в икроножной мышце, причем снижение было достоверно значимым для обеих мышц. Таким образом, как кортикоспинальная, так и спинальная возбудимость увеличивались после первой недели иммерсионного воздействия.

После второй недели СИ пороги кВМО продолжили снижаться относительно значений, зарегистрированных до начала воздействия: снижение составило 8,5 ± 2,2 % в камбаловидной мышце и 9,5 ± 1,9 % — в икроножной, причем в икроножной мышце снижение порогов достигло уровня значимости. Таким

образом, кортикоспинальная возбудимость продолжила увеличиваться в ходе второй недели СИ. Пороги сВМО, наоборот, возросли относительно значений, зарегистрированных на 8-е сутки СИ, однако остались сниженными относительно фоновых значений на 6,2 ± 3,8 % в камбаловидной мышце и на 4,7 ± 3,5 % — в икроножной мышце. Можно заключить, что в ходе второй недели иммерсионного воздействия на спинальном уровне происходила компенсация негативных эффектов опорной разгрузки, вследствие чего спинальная возбудимость снижалась.

В периоде восстановления пороги кВМО оставались сниженными относительно фоновых значений, то есть полного восстановления кортикоспинальной возбудимости до уровня, наблюдаемого до начала воздействия, не происходило. К 4-м сутками после завершения СИ пороги были снижены относительно фоновых значений на 5,9 ± 4,2 % в камбаловидной мышце и на 5,4 ± 5,4 % — в икроножной мышце. Пороги сВМО в периоде восстановления увеличивались относительно фонового уровня, то есть спинальная возбудимость снижалась. К 4-м суткам после завершения СИ повышение порогов составило 8,6 ± 3,5 % в камбаловидной мышце и 5,6 ± 1,9 % — в икроножной мышце. Следовательно, ни кортикоспинальная, ни спинальная возбудимость не восстанавливались до уровня, зарегистрированного до начала СИ, в течение 4-х суток после ее завершения.

Таким образом, в ходе 14-суточной СИ динамика изменения кортикоспинальной и спинальной возбудимости отличалась. После первой недели иммерсионного воздействия наблюдали увеличение возбудимости нервной системы на обоих уровнях. После второй недели воздействия было зарегистрировано дальнейшее и устойчивое увеличение кортикоспинальной возбудимости, в то время как на спинальном уровне наблюдали компенсаторное снижение возбудимости, которое прогрессировало после завершения воздействия.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-15-00309, https://rscf.ru/project/24-15-00309/.

DYNAMICS OF CORTICOSPINAL AND SPINAL EXCITABILITY DURING AND AFTER THE COMPLETION OF 14-DAY DRY IMMERSION

Riabova A.M., Bekreneva M.P., Kurbanova O.E., Gainutdinova E.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

aleksriabova@yandex.ru

In space flight, under the influence of environmental conditions different from those on Earth, adaptive processes occur in the human body, leading to changes in the functioning of various systems. Since space flights have a long duration, the studies of acute effects of adaptation are often carried out in ground-based conditions when modeling the factors of space flight. For example, to evaluate the work of the sensorimotor system, the support and motor unloading, which affects it the most, is modeled (Saveko et al., 2023). However, the mechanisms of transition from the acute phase of adaptation to the chronic phase, which usually occurs after 7 days of flight, are still poorly understood (Kornilova, Kozlovskaya, 2003).

The purpose of this study was to investigate changes in corticospinal and spinal excitability under the conditions of 14-day Dry Immersion (DI), a model that, due to support unloading, reproduces the physiological effects of microgravity on the human body (Tomilovskaya et al., 2019). Eight healthy male volunteers (average age 32 ± 6.2 years) participated in this study. The excitability of the nervous system was assessed through the thresholds values of motor evoked potentials (MEP) of the soleus and gastrocnemius (lateral head) muscles of the right leg. Muscle responses were elicited using transcranial and trans-spinal magnetic stimulation (MS). The MS sessions were conducted three times before DI (baseline data collection—BDC), after the first week of DI (on the 8th day of exposure), after the second week of DI (on the day of the completion of exposure), and on the 2nd and 4th days of the recovery period. MEPs to transcranial stimulation are further designated as «cortical MEPs», to trans-spinal stimulation—»spinal MEPs».

After the first week of DI exposure, a decrease in the MEP thresholds of both muscles was observed. The cortical MEP thresholds decreased compared to the BDC values by 6.7 ± 3.0 % in the soleus muscle and 5.0 ± 3.6 % in the gastrocnemius muscle. The spinal MEP thresholds decreased compared to the BDC values by 13.5 ± 3.3 % in the soleus muscle and by 11.6 ± 1.9 % in the gastrocnemius muscle, and the decrease was statistically significant for both muscles. Thus, both corticospinal and spinal excitability increased after the first week of immersion exposure.

After the second week of DI, the cortical MEP thresholds continued to decrease compared to the values recorded before the start of exposure: the decrease was 8.5 ± 2.2 % in the soleus muscle and 9.5 ± 1.9 % in the gastrocnemius muscle, and in the latter, the decrease in thresholds reached the level of significance. Thus, corticospinal excitability continued to increase during the second week of DI. On the contrary, the spinal MEP thresholds increased compared to the values recorded on the 8th day of the DI, but remained decreased compared to the BDC values by 6.2 ± 3.8 % in the soleus muscle and by 4.7 ± 3.5 % in the gastrocnemius muscle. It can be concluded that during the second week of immersion exposure, the negative effects of support unloading were compensated at the spinal level, and as a result, spinal excitability decreased.

During the recovery period, the cortical MEP thresholds remained decreased compared to the BDC values, that is, there was no complete restoration of corticospinal excitability to the level observed before the start of exposure. By the 4th day after DI completion, the thresholds were lower than the BDC values by 5.9 ± 4.2 % in the soleus muscle and by 5.4 ± 5.4 % in the gastrocnemius muscle. The spinal MEP thresholds increased compared to the BDC level during the recovery period, that is, spinal excitability decreased. By the 4th day after DI completion, the increase in thresholds was 8.6 ± 3.5 % in the soleus muscle and 5.6 ± 1.9 % in the gastrocnemius muscle. Therefore, neither corticospinal nor spinal excitability recovered to the level recorded before the start of DI, within 4 days after its completion.

Thus, during the 14-day DI, the dynamics of changes in corticospinal and spinal excitability differed. After the first week of immersion exposure, an increase in nervous system excitability was observed at both levels. After the second week of exposure, a further and persistent increase in corticospinal excitability was registered, while at the spinal level, a compensatory decrease in excitability was observed, which progressed after the completion of exposure.

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation № 24-15-00309, https://rscf.ru/en/project/24-15-00309/.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ УЧАСТНИКОВ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ SIRIUS НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ ЛИЦЕВЫХ ЭКСПРЕССИЙ

Савинкина А.О.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

a.o.savinkina@gmail.com

Длительное пребывание человека в условиях космического полета и в модельных изоляционных условиях сопряжено с воздействием комплекса неблагоприятных стрессовых факторов как на высшие психические функции, так и на эмоциональное состояние испытателей. Эмоции являются одним из наиболее лабильных показателей, что определяет актуальность оперативного отслеживания именно психоэмоционального фона у космонавтов в планируемых межпланетных полетах и у испытателей в изоляционных экспериментах для прогнозирования их работоспособности. Развитие современных информационных технологий позволяет в автоматизированном режиме анализировать видеозаписи лица испытателей с целью выявления в мимике человека отдельных двигательных единиц, степени выраженности базовых эмоций и общего психологического состояния. При наличии более десятка программ для оценки лицевых экспрессий (FaceReader, Smart Eye, EmoDetect, Neurodata Lab, ЭмоРадар и др.) и ведущихся в настоящее время методологических дискуссиях, одним из наиболее распространенных на данный момент является программное обеспечение FaceReader (Noldus, Нидерланды), применявшееся в данном исследовании.

Использование программного обеспечения (ПО) для автоматизированной оценки лицевых экспрессий в условиях длительных изоляций было сопряжено с рядом методических трудностей. ПО FaceReader (версия 7.1 и 8.1) применяется с 2019 года в изоляционных экспериментах SIRIUS, проводимых в ИМБП РАН. При этом, для оценки состояния в изоляциях были выбраны видео утренних и вечерних обязательных DPC (Daily Planning Conferences – ежедневные планировочные конференции) от экипажа к Центру управления полетом (ЦУП) Наземного экспериментального комплекса (НЭК) как наиболее стандартизированные и регулярно выполняемые экипажем видеозаписи, не требующие дополнительного времени испытателей для сбора видеоданных. Ретроспективный анализ видео DPC из первого 17-суточного SIRIUS-17 оказался невозможен в связи с низким разрешением записанных видео с помощью штатного ПО сеансовой связи (320 x 240 пикселей, 15 кадров/сек), в то время как для автоматизированной оценки лицевых экспрессий

необходимо качество не ниже FullHD (1920 x 1080 пикселей). В этой связи, в эксперименте с 4-месячной изоляцией SIRIUS-19 было введено дополнительное оборудование для параллельной записи DPC – IP камеры AXIS M1065-L, что позволило впервые получить видеоданные (1920 x 1080 пикселей, 25 кадров/сек) для автоматизированной оценки динамики психоэмоционального состояния в условиях длительной изоляции. Начиная с 8-месячного SIRIUS-21 для записи DPC и сеансовой связи применялась видеокамера Logitech BRIO 4k и специально разработанное ПО «Видеоком», позволяющие регистрировать видео в высоком качестве (4096 x 2160 пикселей, 20-25 кадров/сек) и осуществлять передачу видео с запланированной по дизайну эксперимента задержкой по времени, как это было в предыдущей версии ПО (обычно – 5 минут в каждую сторону). С целью улучшения автофокусировки видео на лице испытателей в 12-месячном SIRIUS-23 было также модернизировано рабочее место в НЭК и добавлен белый матовый фон. Все эти улучшения позволили решить технические проблемы при записи DPC и получать все более качественные данные для автоматизированной оценки психоэмоционального состояния испытателей.

Таким образом, материалом для исследования выступили видеозаписи DPC из 3-х изоляционных экспериментов SIRIUS-19, SIRIUS-21 и SIRIUS-23 продолжительностью от 4 до 12 месяцев. В общей сложности был проанализирован 8101 файл DPC общей длительностью 508 599 секунд (141 час 16 минут 39 секунд). В исследовании приняло участие 18 испытателей-добровольцев (8 мужчин и 10 женщин). Исследование было одобрено Комиссией по биомедицинской этике Института медико-биологических проблем РАН. Все участники дали Информированное согласие на участие в эксперименте.

Для анализа видео применялось ПО FaceReader 7.1 в 4-х месячной изоляции и FaceReader 8.1 в 8- и 12-месячных экспериментах. В результате были получены данные по выраженности базовых эмоций в каждом кадре каждого видео: счастье, грусть, злость, удивление, страх, отвращение, презрение, валентность, возбуждение и доля нейтральных эмоций, а также длительность видео. Для первичной обработки результатов экспорта из ПО FaceReader применялся авторский скрипт на языке программирования Python. Статистический анализ данных выполнен с помощью коэффициента корреляции Спирмена.

Предполагалось, что доминирующей тенденцией для всех участников изоляций будет снижение эмоциональности как проявление феномена астенизации. Однако оценка динамики психоэмоционального состояния испытателей показала, что она носит индивидуальный характер. К проявлению нарастающей астении можно отнести случаи роста доли нейтральных эмоций ($p<0,05$), которые наблюдались только у 3 испытателей SIRIUS-19, 4 участников SIRIUS-21 и 3 обследуемых в SIRIUS-23. Таким образом, около половины участников длительных изоляций демонстрировали динамику психоэмоционального состояния, которую можно интерпретировать как астенизацию. Помимо этого, встречались случаи срыва адаптации (рост всех негативных эмоций) – 2 человека; нарастание страха – 4 человека; позитивная адаптация (рост счастья и уровня возбуждения, снижение всех негативных эмоций) – 1 человек; раскрепощение (рост всех эмоций) – 1 человек. Это свидетельствует о значительной вариативности индивидуальных стратегий адаптации в условиях длительной изоляции.

Длительность DPC значимо снижалась от начала к концу изоляции для всех испытателей SIRIUS-19, для 4-ти из 5-ти испытателей, находившихся 8 месяцев в SIRIUS-21, и для всех испытателей SIRIUS-23 ($p < 0,05$). Для одного участника SIRIUS-21 коммуникативная активность в сторону ЦУП НЭК значимо повышалась от начала к концу эксперимента ($p < 0,05$). Необходимо отметить, что перед нештатной ситуаций с получением травмы и выбыванием испытателя в SIRIUS-21 общая коммуникативная активность экипажа при общении с ЦУП достигла своего минимума по отношению ко всему периоду изоляции, при этом минимальной стала также выраженность эмоции страха. Это может свидетельствовать об автономизации экипажа перед нештатной ситуацией и недостаточным запросом информации от ЦУП НЭК, что могло способствовать данной нештатной ситуации.

Необходимо отметить, что переход от ПО FaceReader 7.1 к версии 8.1 был обусловлен возможностью автоматической оценки пульса и уровня стресса по видео лица в более поздней версии ПО. Однако, анализ получаемых таким способом показателей функционального состояния выявил, что они не отличаются высокой валидностью. В частности, были получены значения частоты сердечных сокращений от 27 до 286 ударов в минуту. Таким образом, данный дополнительный модуль в FaceReader 8.1 невозможно использовать в научных целях. В то же время, оценка лицевых экспрессий на предмет выраженности базовых эмоций позволила выявить динамику психоэмоционального состояния испытателей и индивидуальные особенности их адаптации к длительной изоляции, моделирующей космический полет.

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-298 от 18.04.2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Павловский центр "Интегративная физиология – медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям стрессоустойчивости"».

ANALYSIS OF THE PSYCHO-EMOTIONAL STATE DYNAMICS IN PARTICIPANTS OF SIRIUS ISOLATION EXPERIMENTS BASED ON AN AUTOMATED ASSESSMENT OF FACIAL EXPRESSIONS

Savinkina A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

a.o.savinkina@gmail.com

Prolonged human exposure to space flight conditions and in simulated isolation conditions is associated with the effects of a complex of adverse stress factors on both higher mental functions and the emotional state of the subjects. Emotions are one of the most labile indicators, which determines the relevance of promptly tracking the psycho-emotional background of cosmonauts in planned interplanetary flights and testers in isolation experiments to predict their performance. The development of modern information technologies makes it possible to analyze video recordings of subjects' faces in an automated mode in order to identify individual motor units in human facial expressions, the degree of expression of basic emotions and the general psychological state. With more than a dozen programs for evaluating facial expressions (FaceReader, Smart Eye, EmoDetect, Neurodata Lab, EmoRadar, etc.) and ongoing methodological discussions, one of the most widespread at this moment is the FaceReader software (Noldus, Netherlands) which used in this study.

The use of software for automated assessment of facial expressions in conditions of prolonged isolation was fraught with a number of methodological difficulties. FaceReader software (versions 7.1 and 8.1) has been used since 2019 in SIRIUS isolation experiments conducted at IBMP RAS. At the same time, videos of the morning and evening DPC (Daily Planning Conferences) from the crew to the Flight Control Center (MCC) of the Ground Experimental Complex (NEC) were selected to assess the condition in the isolations as the most standardized and regularly performed video recordings by the crew, which do not require additional time for testers to collect video data. A retrospective analysis of the DPC video from the first 17-day SIRIUS-17 proved impossible due to the low resolution of the recorded videos using standard session communication software (320 x 240 pixels, 15 frames/seconds), while for automated assessment of facial expressions, a quality of at least FullHD (1920 x 1080 pixels) is required. In this regard, in an experiment with 4-month SIRIUS-19 isolation, additional equipment was introduced for parallel recording by the AXIS M1065–L DPC-IP camera, which allowed for the first time to obtain video data (1920 x 1080 pixels, 25 frames/seconds) for automated assessment of the dynamics of the psycho-emotional state in conditions of prolonged isolation. Starting with the 8-month SIRIUS-21, a Logitech BRIO 4k video camera and specially developed Videocom software were used to record high-quality video (4096 x 2160 pixels, 20-25 frames/seconds) and transmit video with a time delay planned by the design of the experiment, as it was in the previous version of the software (usually 5 minutes each way). In order to improve the autofocus of video on the testers' faces, the 12-month SIRIUS-23 also upgraded the workplace in the NEC and added a white matte background. All these improvements made it possible to solve technical problems when recording DPC and obtain better and better data for automated assessment of the psychoemotional state of the testers.

Thus, the material for the study was DPC videos from 3 isolation experiments SIRIUS-19, SIRIUS-21 and SIRIUS-23 with duration from 4 to 12 months. A total 8,101 of DPC files with a total duration of 508,599 seconds (141 hours, 16 minutes, 39 seconds) were analyzed. The study involved 18 subjects (8 men and 10 women). The study was approved by the Commission on Biomedical Ethics of the Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences. All participants gave Informed consent to participate in the experiment.

For video analysis, FaceReader 7.1 software was used in 4-month isolation and FaceReader 8.1 in 8- and 12-month experiments. As a result, data were obtained on the severity of basic emotions in each frame of each video: happiness, sadness, anger, surprise, fear, disgust, contempt, valence, arousal and the proportion of neutral emotions, as well as the duration of the video. For the initial processing of export results from FaceReader software, an author's script in the Python was used. Statistical analysis of the data was performed using the Spearman correlation coefficient.

It was assumed that the dominant trend for all participants in isolation would be a decrease in emotionality as a manifestation of the phenomenon of asthenization. However, the assessment of the dynamics of the psychoemotional state of the testers showed that it has an individual nature. Cases of an increase in the proportion of neutral emotions ($p < 0.05$) can be attributed to the manifestation of increasing asthenia, which were observed only in 3 SIRIUS-19 subjects, 4 SIRIUS-21 participants and 3 SIRIUS-23 subjects. Thus, about half of the participants in long-term isolation demonstrated the dynamics of a psychoemotional state, which can be interpreted as asthenization. In addition, there were cases of disrupted adaptation (an increase in all negative emotions) – 2 people; an increase in fear – 4 people; positive adaptation (an increase in happiness and arousal, a decrease in all negative emotions) – 1 person; release (an increase in all emotions) – 1 person. This indicates a significant variability in individual adaptation strategies in conditions of prolonged isolation.

The duration of DPC significantly decreased from the beginning to the end of isolation for all SIRIUS-19 testers, for 4 out of 5 testers who spent 8 months in SIRIUS-21, and for all SIRIUS-23 testers ($p < 0.05$). For one SIRIUS-21 participant, communication activity towards the MCC NEK increased significantly from the beginning to the end of the experiment ($p < 0.05$). It should be noted that before the emergency situations with injury and withdrawal of the tester in SIRIUS-21, the general communicative activity of the crew when communicating with the MCC reached its minimum in relation to the entire period of isolation, while the severity of the emotion of fear also became minimal. This may indicate the autonomy of the crew in front of an emergency situation and an insufficient request for information from the NEK Control Center, which could contribute to this emergency situation.

It should be noted that the transition from FaceReader 7.1 software to version 8.1 was due to the ability to automatically assess heart rate and stress levels from facial video in a later version of the software. However, an analysis of the functional state indicators obtained in this way revealed that they do not have high validity. In particular, the values of the heart rate from 27 to 286 beats per minute were obtained. Thus, this additional module in FaceReader 8.1 cannot be used for scientific purposes. At the same time, the assessment of facial expressions for the severity of basic emotions revealed the dynamics of the psychoemotional state of the subjects and the individual characteristics of their adaptation to prolonged isolation, simulating space flight, were obtained.

The study was supported by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under agreement № 075-15-2022-298 from 18 April 2022 about the grant in the form of subsidy from the federal budget to provide government support for the creation and development of a world-class research center, the "Pavlov Center for Integrative Physiology to Medicine, High-tech Healthcare and Stress Tolerance Technologies".

ДИНАМИКА СПЛОЧЕННОСТИ КАК ЦЕННОСТНО-ЦЕЛЕВОГО ЕДИНСТВА ЭКИПАЖА В ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ SIRIUS

Савинкина А.О., Кузнецова П.Г., Виноходова А.Г.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

a.o.savinkina@gmail.com

Сплоченность малой группы традиционно рассматривают как один из ключевых факторов высокой работоспособности и удовлетворенности от совместной деятельности в коллективе. Сохранение и развитие уровня сплоченности особенно актуально для условий воздействия на экипаж длительного стресса, который можно наблюдать в космическом полете и в аналоговых экспериментах. При этом, под сплоченностью – на основе концепции о деятельностном опосредовании межличностных отношений в малой группе – традиционно понимают ценностно-ориентационное единство (ЦОЕ) по А.В. Петровскому, а в настоящее время – предметно-ценностное и предметно-мотивационное единство группы по А.И. Донцову. В связи с этим, показателем сплоченности является единство ценностей и целей, непосредственно связанных с содержанием совместной деятельности. Уникальность совместной деятельности экипажей в изоляционных экспериментах SIRIUS обусловила необходимость адаптации методики диагностики сплоченности как ценностно-целевого единства для данной специфической выборки. Основной же целью исследования была оценка динамики сплоченности экипажей в условиях длительных изоляций, моделирующих космический полет.

На предварительном этапе исследования перед 4-месячным изоляционным экспериментом SIRIUS-19 был проведен опрос участников основного экипажа и 1 дублера (всего 7 человек, среди них 3 мужчин и 4 женщины) по 3 открытым вопросам: «каким должен быть идеальный член экипажа в изоляционном эксперименте (или в космическом полете)», «качества, которыми точно не должен обладать участник изоляционного эксперимента (или космического полета)» и «5–10 целей (задач), которые были поставлены на весь период подготовки и участия в эксперименте SIRIUS-19 лично перед Вами или перед всем экипажем». Несмотря на небольшой объем выборки предварительного исследования, в ней присутствовали: 1 космонавт, имеющий опыт космических полетов; 1 участник изоляционного эксперимента Луна-2015 и 1 участник двух зарубежных изоляционных экспериментов. При этом, все испытатели имели опыт работы в космонавтике или в тематике, близкой к космической.

С помощью контент-анализа результатов предварительного опроса были выбраны по 10 наиболее предпочитаемых качеств, отвергаемых качеств и целей, на основании чего была разработана основная версия

опросника ЦОЕ, переведенная при участии представителя NASA на английский язык. В опроснике каждому испытателю предлагалось проранжировать от 1 до 10 предпочитаемые и отвергаемые качества и цели. Необходимо отметить, что оценка единства отвергаемых качеств была введена в практике диагностики сплоченности малой группы впервые, ранее для оценки единства применялся анализ только сходства по предпочитаемым качествам.

В основной части исследования приняли участие экипажи 4-, 8- и 12-месячной изоляции SIRIUS-19, SIRIUS-21 и SIRIUS-23 (всего 3 экипажа по 6 испытателей, среди них 8 мужчин и 10 женщин). Опросник сплоченности проводился трижды в SIRIUS-19 (в фоне, середине изоляции и в последействии), четырежды в SIRIUS-21 (в фоне, 2 раза во время и 1 раз после изоляции) и раз в месяц – в SIRIUS-23. Анализ выполнен с помощью методов описательной статистики и коэффициента корреляции Спирмена. Исследование было одобрено Комиссией по биомедицинской этике Института медико-биологических проблем РАН. Все участники дали Информированное согласие на участие в эксперименте.

Было выявлено, что в фоновых обследованиях общий уровень ценностно-целевого единства экипажей находился на достаточно высоком уровне, особенно в 4-месячном эксперименте SIRIUS-19. В последующем 8-месячном SIRIUS-21 в фоне отсутствовало единство по предпочитаемым качествам, а в годовом SIRIUS-23 – не было согласия по отвергаемым качествам. Все три субшкалы сплоченности изменялись во время изоляций синхронно. Причем единство по целям было ближе по абсолютным показателям к согласованности мнений о недопустимых качествах, по сравнению с предпочитаемыми качествами – это воспроизводилось во всех 3-х экипажах. При общей тенденции к повышению сплоченности в 4- и 12-месячном экспериментах, значимо росло единство по предпочитаемым качествам в SIRIUS-19 ($p < 0,05$) и единство по отвергаемым качествам – в SIRIUS-23 ($p < 0,05$). В SIRIUS-21 сплоченность снижалась в последней трети эксперимента.

Анализ индивидуальных данных единства испытателей с экипажем позволил выявить по одному человеку в SIRIUS-19 и SIRIUS-23, чьи ценно-целевые ориентации значимо отличались от коллектива, что могло служить предиктором развития конфликтных ситуаций. В SIRIUS-21 у 1 участника изоляции снижалось единство с экипажем по предпочитаемым качествам, у двух других – по отвергаемым качествам и целям.

При оценке степени попарного сходства ценностей и целей для каждого изоляционного эксперимента методика ЦОЕ позволила построить графы близости (по аналогии с социограммами) и выявить подгруппы внутри экипажа на каждом этапе изоляции. Планируется дальнейшее сопоставление показателей ценностно-целевого единства с индивидуальными психологическими данными испытателей и совместимостью участников изоляции.

Исследование выполнено в рамках программы Фундаментальных научных исследований РАН FMFR-2024-0034.

DYNAMICS OF CREW COHESION AS VALUE-GOAL UNITY IN SIRIUS ISOLATION EXPERIMENTS

Savinkina A., Kuznetsova P., Vinokhodova A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

a.o.savinkina@gmail.com

The cohesion of a small group is traditionally considered as one of the key factors of high efficiency and satisfaction from teamwork. Maintaining and developing the level of cohesion is especially important for the conditions of exposure to long-term stress on the crew, which can be observed in space flight and in analog experiments. At the same time, cohesion, based on the concept of activity–based mediation of interpersonal relations in a small group, is traditionally understood as value–oriented unity according to A.V. Petrovsky, and currently – the subject-value and subject-motivational unity of the group according to A.I. Dontsov. In this regard, the unity of values and goals directly related to the content of joint activities is an indicator of cohesion. The uniqueness of the joint work of the crews in SIRIUS isolation experiments made it necessary to adapt the methodology for diagnosing cohesion as a value-oriented unity for this specific sample. The main purpose of the study was to assess the dynamics of crew cohesion in conditions of prolonged isolation simulating space flight.

At the preliminary stage of the study, before the 4-month SIRIUS-19 isolation experiment, a survey was conducted for the participants of the main crew and 1 reserve subject (a total of 7 people, including 3 men and 4 women) on three open questions: «what should be the ideal crew member in an isolation experiment (or in space flight)», «qualities which should definitely not be possessed by a participant in an isolation experiment

(or space flight)» and «5-10 goals (tasks) that were set for the entire period of preparation and participation in the SIRIUS-19 experiment personally in front of you or the entire crew.» Despite the small sample size of the preliminary study, it included: 1 cosmonaut with space flights experience; 1 participant in the Luna-2015 isolation experiment and 1 participant in two foreign isolation experiments. At the same time, all the testers had experience working in cosmonautics or in subjects close to it.

Using the content analysis of the results of the preliminary survey, 10 most preferred qualities, rejected qualities and goals were selected, on the basis of which the main version of the TsOE questionnaire was developed, translated into English with the participation of a NASA representative. In the questionnaire, each subject was asked to rank from 1 to 10 preferred and rejected qualities and goals. It should be noted that the assessment of the unity of rejected qualities was introduced in the practice of diagnosing the cohesion of a small group for the first time; previously, an analysis of only similarity in preferred qualities was used to assess unity.

The main part of the study involved 4-, 8-, and 12-month isolation crews of SIRIUS-19, SIRIUS-21, and SIRIUS-23 (a total of 3 crews of 6 testers each, including 8 men and 10 women). The cohesion questionnaire was conducted three times in SIRIUS-19 (in the background, in the middle of isolation, and in the aftereffect), four times in SIRIUS-21 (in the background, twice during and once after isolation), and once a month in SIRIUS–23. The analysis was performed using descriptive statistics and Spearman correlation coefficient methods. The study was approved by the Commission on Biomedical Ethics of the Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences. All participants gave Informed consent to participate in the experiment.

It was revealed that in the background surveys, the overall level of value-goal unity of the crews was at a fairly high level, especially in the 4-month SIRIUS-19 experiment. In the subsequent 8-month SIRIUS-21, there was no unity in the background on preferred qualities, and in the 12-month SIRIUS-23, there was no agreement on rejected qualities. All three subscales of cohesion changed synchronously during the isolations. Moreover, the unity of goals was closer in absolute terms to the consistency of opinions about unacceptable qualities, compared with preferred qualities – this was reproduced in all 3 crews. While there was a general trend towards increased cohesion in the 4- and 12-month experiments, unity in preferred qualities increased significantly in SIRIUS-19 ($p < 0.05$) and unity in rejected qualities in SIRIUS-23 ($p < 0.05$). In SIRIUS-21, cohesion decreased in the last third of the experiment.

An analysis of the individual data on the unity of the testers with the crew made it possible to identify one person each in SIRIUS-19 and SIRIUS-23, whose value and target orientations significantly differed from the team, which could serve as a predictor of the development of conflict situations. In SIRIUS-21, 1 isolation participant had reduced unity with the crew in terms of preferred qualities, while the other two had reduced unity in terms of rejected qualities and goals.

When assessing the degree of pairwise similarity of values and goals for each isolation experiment, the TsOE methodology made it possible to construct proximity graphs (by analogy with sociograms) and identify subgroups within the crew at each stage of isolation. It is planned to further compare the indicators of value-goal unity with the individual psychological data of the examiners and the compatibility of the isolation participants.

The study was carried out within the framework of the Fundamental Scientific Research program of the Russian Academy of Sciences FMFR-2024-0034.

ПЕРСПЕКТИВЫ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПОЛЕТОВ: МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ

Свидинская Е.А.[1], Проклов Д.А.[2]

[1]Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия
[2]Школа 118, Москва, Россия

svidinskaya@gmail.com

Освоение человеком дальнего космоса требует решения целого ряда не только технических, но и медицинских вопросов, в том числе и с участием врача в дальних космических полетах. Космос – враждебная среда для большинства живых существ. Основные опасности связаны с радиацией и микрогравитацией. Радиация в космосе намного выше, чем на Земле, где нас защищают слой атмосферы толщиной в 10 км и магнитное поле Земли. В космосе различные источники радиации могут повредить человеческую ДНК намного быстрее, а риск развития рака выше. Ключевые факторы длительного космического полета: невесомость и изменение гравитационного поля; изменение электромагнитного поля; изменение радиационного фона.

Цель: на основании открытых источников информации и доступной литературы оценить возможные перспективы осуществления длительных межпланетных космический полетов

Результаты.

1. Возможные цели для полета.

Проксима Центавра b. Расстояние: ~4,24 световых года (ближайшая к Солнцу экзопланета). Особенности: находится в зоне обитаемости красного карлика Проксима Центавра. Возможна жидкая вода, но высокая радиация из-за вспышек звезды.

TRAPPIST-1e. Расстояние: ~39,5 световых лет. Особенности: каменистая планета в зоне обитаемости ультрахолодного карлика TRAPPIST-1. Может иметь воду и умеренный климат.

Кеплер-442b. Расстояние: ~1196,07 световых лет. Особенности: суперземля с высокой вероятностью наличия жидкой воды. Получает достаточно света от своей звезды для фотосинтеза.

LHS 1140 b. Расстояние: ~40,67 световых лет. Особенности: каменистая планета в зоне обитаемости, возможно, с плотной атмосферой и океанами.

Teegarden b. Расстояние: ~12,5 световых лет. Особенности: одна из самых похожих на Землю планет по индексу подобия. Находится в зоне обитаемости тихого красного карлика.

2. Средства.

При скорости 15 % от скорости света (44 969 км/с) продолжительность полета составит: к Проксима Центавра b – ~28 лет (~1 поколение*)

Перелет к TRAPPIST-1e – ~263 лет (~9 поколений*)

Перелет к Кеплер-442b – ~ 7974 лет (~266 поколений*)

Перелет к LHS 1140 b – ~271 лет (~9 поколений*)

Перелет к Teegarden b – ~83 лет (~3 поколения*)

* 1 поколение ≈ 30 лет

Космический корабль должен быть оснащен двумя кольцевыми модулями (тора́ми) по стандарту Стэнфордского типа, каждый с внешним радиусом 224,6 метра и внутренним радиусом 3 метра. Для обеспечения стабильности системы торы должны вращаться в противоположных направлениях с угловой скоростью 2 оборота в минуту, что обеспечивает компенсацию гироскопического момента и исключает возникновение паразитного крутящего момента на корпус аппарата, а также позволяет поддерживать искусственную гравитацию на уровне земной. Выбранная радиальная скорость вращения обусловлена необходимостью минимизации воздействия силы Кориолиса на биологические системы. При указанных параметрах кориолисовы ускорения не превышают физиологически допустимых пределов, предотвращая нарушения в работе вестибулярного аппарата и циркуляции жидкостей в организме. Оптимальная крейсерская скорость корабля составляет 15 % от скорости света. Данное значение представляет собой практический предел, достижимый при современном уровне развития реактивных технологий, учитывая ограничения, накладываемые релятивистскими эффектами и энергетической эффективностью.

3. Экипаж.

Учитывая длительность полета, логично встает вопрос о рождении будущих членов экипажа и размножении животных во время экспедиции. Основные этапы размножения: созревание мужских и женских половых клеток, оплодотворение, имплантация, рождение и ранний постнатальный период.

Исследования у приматов показали, что даже относительно низких доз ионизирующего излучения достаточно для того, чтобы убить большую часть незрелых ооцитов у плода-девочки во второй половине беременности. Вероятно, девочка, зачатая в космосе, вполне может родиться стерильной из-за повреждения половых клеток. С подобными проблемами также может столкнуться и мальчик, выношенный и рожденный в таких же условиях.

Согласно результатам исследования NASA, отсутствие гравитации и радиация практически никак не влияют на качество сперматозоидов, поэтому забеременеть в космосе вполне реально. С другой стороны, количество сперматогоний статистически достоверно уменьшалось в яичках крыс после космических полетов спутников «Космос-1887».

В условиях космического полета возможно развитие 2-клеточных зародышей мышей до бластоцисты, хотя скорость образования бластоцист при этом сильно снижена. Возможным решением будет использование криоконсервированных эмбрионов, полученных на Земле.

Эмбриогенез. Развитие основных зачатков осевых органов и развитие плаценты начинается на третьей, заканчивается на восьмой неделе беременности, критические этапы эмбриогенеза: 7–8 недель – формирование головного мозга, Интенсивное развитие головного мозга 15–20 неделя. Нарушения в формировании нервной системы в этот критический период могут быть необратимы и повлиять на всю жизнь человека. Сила тяжести влияет на строение и работу опорно-двигательной системы, отделов нервной системы, участвующих в управлении движением, сердечно-сосудистой системы, почек (водно-солевой баланс в организме), гормональной системы.

С первых космических полетов стало очевидно, что отсутствие гравитации серьезным образом влияет на организм человека: развивается болезнь движения (аналог морской болезни), связанная с сенсорным конфликтом, появляется отечность тканей головы, возникает мышечная атония, впоследствии к ней добавляется атрофия скелетной и сердечной мышц, меняется поза и т.д.

Наиболее уязвимыми для действия микрогравитации, по-видимому, являются ранние сроки эмбриогенеза – от оплодотворения до стадии средней бластулы

В условиях космического полета в экспериментах с иглистым тритоном было показано, что нервная трубка не смыкается в голове или головной области у 80 % эмбрионов, но при экспонировании в центрифуге с вращением, создающим 1 g, подобный дефект имел место только у 4,5 % эмбрионов.

В условиях невесомости развивались нарушения вестибулярной функции. В дальнейшем в условиях земной гравитации вестибулярная функция восстанавливалась

Роды. Своевременное самопроизвольное начало родов является скоординированным процессом взаимодействия организмов матери и плода. В условиях гравитации, схожей с земной, будут возможны как естественные, так и оперативные роды. Однако учеными во всем мире разрабатываются прототипы матки для вынашивания эмбрионов до жизнеспособного срока беременности, а в идеале до полной физиологической зрелости плода.

Биотехнологи из Германии разрабатывают прототип первого в мире оборудования для искусственной матки. Проект EctoLife основан на более чем пятидесяти новаторских научных исследованиях. Израильские ученые вырастили из 250-клеточных эмбрионов мышиных зародышей с полностью сформировавшимися органами, используя искусственные матки. По их словам, это открытие может проложить путь к вынашиванию человеческих эмбрионов вне матки.

Выводы. Эпоха освоения космоса ознаменована не только впечатляющими достижениями в области науки и техники, но и осознанием глобальных вызовов, стоящих перед человечеством на пути к звездам. Одним из наиболее значимых является медицинское обеспечение возможности осуществления длительных, межпланетных полетов, сопряженных с рядом серьезных проблем, требующих инновационных решений.

PROSPECTS FOR INTERPLANETARY FLIGHT: MEDICAL ASPECTS

Svidinskaya E.[1], Proklov A.[2]

[1]I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia
[2]Moscow School № 118, Moscow, Russia

svidinskaya@gmail.com

Human exploration of deep space presents a number of challenges, including not only technical but also medical ones. A doctor is essential for deep space missions, as the environment in space is hostile to most living beings due to factors such as radiation and microgravity.

Radiation in space is significantly higher than on Earth, as we are protected by the Earth's atmosphere and magnetic field. This increased radiation can damage human DNA more quickly, increasing the risk of cancer development. Long-term spaceflight presents additional challenges, such as weightlessness, changes in the gravitational and electromagnetic fields, and radiation background.

Objective: based on open sources of information and literature, this study aims to evaluate the potential for long-term interplanetary spaceflight.

Results.

1. Potential flight targets

Proxima Centauri b: Distance: ~4.24 light-years (the closest exoplanet to the Sun). Features: Located in the habitable zone of the red dwarf Proxima Centauri. Liquid water is possible, but there is high radiation due to star flares.

Trappist-1e: Distance: ~39.5 light years. Features: A rocky planet in the habitable zone of the ultracool dwarf TRAPPIST-1, which can have water and a temperate climate.

Kepler-442b: Distance: ~1,196 light years. Features: Super-Earth with a high probability of liquid water, receiving enough light for photosynthesis.

LHS 1140b: Distance: 40.7 light years. Features: Rocky planet in the habitable zone with a possible dense atmosphere and oceans.

Teegarden b: Distance: ~12.5 light years. Similar to Earth in terms of index, located in the habitable zone of a quiet red dwarf.

2. Resources

At a speed of 15% of the speed of light (~44,969 km/s), the estimated flight duration would be:

– To Proxima Centauri b: ~28 years (approximately 1 generation)

– To Trappist-1 e: ~263 years (approximately 9 generations)

– To Kepler-442 b: ~7,974 years (approximately 266 generations)

– LHS 1140 b: ~271 years (approximately 9 generations)

– Teegarden b: ~83 years (approximately 3 generations)

Note: 1 generation is approximately 30 years.

The spacecraft should be equipped with two ring modules, each with an outer radius of 224.6 centimeters and an inner radius of 3 centimeters, according to the Stanford standard. To ensure stability, the ring modules must rotate in opposite directions at an angular velocity of 2 rotations per minute. This compensates for gyroscopic moments and eliminates parasitic torque on the spacecraft's body, as well as maintaining artificial gravity at Earth's level.

The chosen radial rotation speed was selected to minimize the Coriolis effect on biological systems. With this speed, Coriolis accelerations do not exceed physiological limits, preventing disturbance to the vestibular system and fluid circulation. The optimal cruise speed of the spacecraft is 15% the speed of light. This value represents the practical limit achievable at the current level of development of reactive technologies, considering the limitations imposed by relativistic effects and energy efficiency.

3. Crew

Given the duration of the flight, it is logical to consider the issue of the birth of future crew members and reproduction of animals during the expedition. The main stages of reproduction include maturation of male and female gametes, fertilization, implantation, birth, and the early postnatal period.

Studies on primates have shown that even low doses of ionizing radiation can kill most immature oocytes in a fetus in the second half of pregnancy. It is likely that a girl conceived in space could be born sterile due to damage to her germ cells. Similarly, a boy conceived and born under similar conditions could also face similar issues.

According to the results of a NASA study, the lack of gravity and radiation has a minimal effect on sperm quality, making pregnancy in space a realistic possibility. However, the number of spermatogonia in rats' testicles decreased significantly after spaceflight on the Cosmos-1887 satellite.

In spaceflight conditions, two-cell mouse embryos can develop into blastocysts, but the rate of blastocyst formation is significantly reduced. One possible solution is to use cryopreserved embryos from Earth.

Embryogenesis. The development of the main organs and the placenta begins in the third week and ends in the eighth week of pregnancy. This is a critical stage in embryo development, during which the brain, nervous system, musculoskeletal system, cardiovascular system, kidneys, and hormonal system all undergo significant changes.

Disruptions in the formation of these systems during this period can have irreversible consequences and affect a person's life. Gravity plays a significant role in shaping and functioning of these systems, as it affects the musculoskeletal system's ability to control movement, the cardiovascular system's blood flow, the kidneys' water-salt balance, and the hormonal balance.

From early space flight experiments, we have seen that the lack of gravity can lead to motion sickness, tissue swelling, muscle weakness, and subsequent atrophy of skeletal and cardiac muscles. These changes can also lead to postural changes and other physical impairments.

The most vulnerable to the effects of microgravity are the early stages of embryogenesis, from fertilization to the middle blastula stage. In space flight experiments with a newt-like organism, it was shown that the neural tube did not close in the head or head region in 80% of embryos exposed to microgravity. However, when exposed to 1 g in a centrifuge, a similar defect occurred in only 4.5% of the embryos.

In zero gravity conditions, vestibular function disorders develop. Later, when returned to Earth's gravity, vestibular function is restored. The timely spontaneous onset of labor is a coordinated process between the mother's and fetus's organisms. In Earth-like gravity conditions, both natural and operative delivery are possible. Scientists are developing prototypes for carrying embryos through a viable gestational period and ideally to full physiological maturity.

Biotechnologists from Germany are working on a prototype for the world's first artificial uterus device. The EctoLife project, based on more than 50 groundbreaking scientific studies, has led Israeli scientists to grow mouse embryos with fully developed organs from 250-cell embryos in an artificial uterus. They believe this discovery could pave the way for human embryo development outside the uterus.

The era of space exploration has been marked by significant scientific and technological achievements, as well as awareness of the challenges humanity faces on its journey to the stars. One of the most significant challenges is providing medical support for long-term interplanetary flights, which require innovative solutions to overcome serious problems.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ БИОГЕННЫХ АМИНОВ И ИХ МЕТАБОЛИТОВ У ИСПЫТУЕМЫХ В РАМКАХ ГОДОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ГЕРМООБЪЕКТЕ

Седов Е.А., Румянцева В.С., Колесников Д.Ю., Васильева Г.Ю.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

sedov.gf@gmail.com

Аннотация. В работе впервые представлены результаты исследования динамики уровней катехоламинов, серотонина и их метаболитов у участников годового изоляционного эксперимента SIRIUS-23, моделирующего условия длительного космического полета. Выявлено отсутствие выраженных сдвигов катехоламинов и их метаболитов в процессе эксперимента, что говорит о компенсированности нейрогуморального ответа в условиях изоляции.

Ключевые слова: космический полет, изоляция, катехоламины, серотонин, нейромедиаторы, биомаркеры стресса, адаптация, SIRIUS-23, физиологические механизмы

Реферат. This work presents the results of a study on the dynamics of catecholamines, serotonin, and their metabolites in participants of the year-long isolation experiment SIRIUS-23 simulating the conditions of extended spaceflight. Statistical and comparative analyses of the concentrations of adrenaline, noradrenaline, dopamine, serotonin, vanillylmandelic, homovanillic and 5-hydroxyindoleacetic acids were performed throughout the experiment.

В условиях длительных космических полетов и их моделирования ключевую роль в поддержании адаптивных реакций организма играют биогенные амины и их метаболиты, которые являются маркерами нейроэндокринного ответа на стресс, психоэмоциональные нагрузки, сенсорную депривацию и циркадианные сдвиги (Lee E. Eiden, 2013; Kvetnansky R., LuX., Ziegler M.G., 2013; Shirenova S.D. et al.,2023). На протяжении последних лет особое внимание уделяется мониторингу этих показателей в ходе длительных миссий и наземных изоляционных экспериментов (МКС, SIRIUS, Марс 500), где регистрируется многофакторное влияние: социальная изоляция, ограничение двигательной активности, смена светового режима и изменение рациона (YiB. et al, 2015).

В условиях 365-суточного изоляционного эксперимента SIRIUS-23, воспроизводящего основные характеристики перспективной межпланетной экспедиции были обследованы 6 здоровых человек (2 мужчин, 4 женщины). С учетом графика эксперимента выполнялось взятие венозной крови и суточной мочи на 0, 20, 45, 86, 113, 146, 175, 210, 240, 275, 302, 338, 363-е сутки и спустя 13 суток после окончания эксперимента. Концентрации адреналина, норадреналина и дофамина определяли в плазме ЭДТА, концентрацию серотонина в сыворотке крови, концентрации ванилилминдалиевой, гомованилиновой и гидроксииндолуксусной кислот в суточной моче методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с амперометрическим детектированием на хроматографе Agilent 1200 (Agilent, США), на обращено-фазовой хроматографической колонке Phenomenex, США. Для приготовления калибровочных стандартов и образцов контроля качества применяли субстанции адреналина, норадреналина, дофамина и серотонина производства SigmaAldrich (Merck, США).

Уровни адреналина, дофамина, серотонина, ВМК, ГКУК и ГВК в ходе годовой изоляции оставались в диапазоне физиологической нормы, что свидетельствует о сохранении адаптационного потенциала участников. Отсутствие выраженных фазовых сдвигов по катехоламинам и их метаболитам также подтверждает, что длительная изоляция в гермообъекте при адекватном психологическом и организационном сопровождении не приводит к декомпенсации нейрогуморальных систем у большинства испытуемых. Начиная с 210 суток эксперимента, отмечается достоверное снижение норадреналина ($p < 0.05$). Индивидуальные всплески серотонина и дофамина ($p < 0.05$) могут свидетельствовать о вариабельности психоэмоциональных реакций, что требует дальнейшего индивидуализированного мониторинга во время реальных космических миссий. Полученные результаты согласуются с литературными данными о фазности и компенсированности нейроэндокринного ответа при длительном пребывании в экстремальных условиях.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований РАН по теме FMFR-2024-0039.

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF BIOGENIC AMINES AND THEIR METABOLITES IN SUBJECTS DURING A YEAR-LONG ISOLATION

Sedov E.A., Rumyantseva V.S., Kolesnikov D.Yu., Vassilieva G.Yu.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

sedov.gf@gmail.com

Abstract. This study presents, for the first time, the results of an investigation into the dynamics of catecholamines, serotonin, and their metabolites in participants of the year-long isolation experiment SIRIUS-23, which simulates the conditions of prolonged spaceflight. No significant changes in catecholamines and their metabolites were detected during the experiment, which indicates a compensated neurohumoral response under conditions of isolation.

Key words: spaceflight, isolation, catecholamines, serotonin, neurotransmitters, stress biomarkers, adaptation, SIRIUS-23, physiological mechanisms.

Under conditions of prolonged space missions and their ground-based analogs, biogenic amines and their metabolites play a crucial role in maintaining adaptive responses of the human body. Thesecompoundsserveas markers of the neuroendocrine response to stress, psychoemotional challenges, sensory deprivation, and circadian rhythm shifts. In recent years, particular attention has been paid to the monitoring of these parameters during extended missions and ground-based isolation experiments (SIRIUS-19/21/23, MARS500, ISS), which are characterized by multifactorial impacts such as social isolation, reduced physical activity, altered light regimes, anddietarychanges.

Within the framework of the 366-day isolation experiment SIRIUS-23, which models the principal features of a prospective interplanetary expedition, six healthy volunteers (2 males, 4 females) were examined. According to the experimental schedule, venous blood and 24-hour urine samples were collected on days -7, 20, 45, 86, 113, 146, 175, 210, 240, 275, 302, 338, 363, and 13 days post-isolation. Concentrationsofadrenaline, noradrenaline, and dopamine were measured in EDTA plasma; serotonin concentrations were determined in blood serum; concentrations of vanillylmandelic, homovanillic, and 5-hydroxyindoleacetic acids were measured in 24-hour urine samples using high-performance liquid chromatography with amperometric detection (Agilent 1200, Agilent, USA) on a reversed-phase chromatographic column (Phenomenex, USA). Calibration standards and quality control samples were prepared using reference substances of adrenaline, noradrenaline, dopamine, and serotonin (Sigma Aldrich, Merck, USA). Throughout the year-long isolation, the levels of adrenaline, dopamine, serotonin, vanillylmandelic, homovanillic, and 5-hydroxyindoleacetic acids remained within the physiological range, indicating the preservation of the adaptive potential of the participants. A statistically significant decrease in noradrenaline levels ($p < 0.05$) starting from day 210 of the experiment. The absence of pronounced phase shifts in catecholamines and their metabolites further confirms that prolonged isolation in a sealed facility, when accompanied by adequate psychological and organizational support, does not lead to decompensation of neurohumoral systems in the majority of subjects. Individual surges in serotonin and dopamine ($p < 0.05$) reflect variability in psychoemotional responses, underscoring the need for continued individualized monitoring during actual space missions. The obtained results align with published data regarding the phased and compensated nature of the neuroendocrine response during prolonged exposure to extreme conditions.

Supported by RAS Fundamental Research Program (FMFR-2024-0039).

ДИНАМИКА ЭРИТРОЦИТАРНЫХ ИНДЕКСОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБМЕНА ЖЕЛЕЗА У ЖЕНЩИН В 366-СУТОЧНОМ ИЗОЛЯЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ SIRIUS-23

Серова А.В., Журавлева О.А., Рыкова М.П., Журавлева Т.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

aniuta.serova2010@yandex.ru

Введение. Изоляционные эксперименты в гермообъекте с искусственно заданными параметрами среды обитания позволяют моделировать выполнение профессиональной деятельности по аналогии с космической и организацию связи со службами обеспечения имитируемого полета тождественно с реальными

экспедициями на Международную космическую станцию. Выявлено, что гиподинамия, газовый состав, влажность, давление, температура и другие параметры среды гермообъекта, а также особенности питания участников изоляционных экспериментов могут влиять на направленность и интенсивность обмена веществ, в том числе и на метаболизм железа. В сыворотке крови мужчин-добровольцев во время 105-суточной изоляции в гермообъекте наблюдалось увеличение концентрации железа более чем в 2 раза. При этом в 17-суточном изоляционном эксперименте SIRIUS у женщин было отмечено практически двукратное снижение содержания сывороточного железа на 2-е и 7-е сутки периода восстановления (ПВ), что было обусловлено физиологическими особенностями женского организма. Однако имеющиеся в доступной литературе сведения, касающиеся обмена железа и морфофункциональных характеристик эритроцитов в экспериментах с изоляцией в гермообъекте, отрывочны и немногочисленны.

Цель работы заключалась в изучении изменений эритроцитарных индексов и показателей обмена железа у женщин в динамике 366-суточной изоляции в гермообъекте с искусственно заданными параметрами среды обитания.

Материалы и методы. В исследовании, проводимом в рамках изоляционного эксперимента SIRIUS-23, участвовали 4 женщины-добровольца в возрасте от 27 до 36 лет, подписавшие информированное согласие. Программа эксперимента одобрена комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (Протокол № 643 от 7 июля 2023 г.).

Взятие венозной крови у испытуемых проводили из локтевой вены утром, натощак, за 28 суток до начала эксперимента (фоновое обследование), во время изоляционного периода на 61-е, 188-е, 251-е, 313-е и 354-е сутки, а также на 5-е сутки периода восстановления.

В цельной крови, стабилизированной К3-ЭДТА, определяли значения 7 показателей: количество эритроцитов (RBC), концентрацию гемоглобина (Hb), величину гематокрита (Ht), средний объем эритроцитов (MCV), среднее содержание гемоглобина в эритроцитах (MCH), среднюю концентрацию гемоглобина в массе эритроцитов (MCHC), ширину распределения эритроцитов по объему (RDW). Измерения параметров проводили на автоматическом гематологическом анализаторе Celltac α+ MEK 6318K (Nihon Kohden, Япония). В сыворотке крови обследуемых методом абсорбционной фотометрии на автоматическом биохимическом анализаторе TARGA BT 3000 (Biotecnica Instruments, Италия) определяли концентрации железа, а также измеряли концентрации ферритина, методом иммуноферментного анализа на планшетном иммуноферментном анализаторе Stat-Fax-2100 (Awareness Technology, США). В дополнение к определяемым показателям рассчитывали фактор микроцитарной анемии (MAF).

Статистическая обработка результатов не проводилась из-за малого количества участников и большой вариабельности показателей, в связи с чем данные представлены в индивидуальном формате.

Результаты и обсуждение. В первой половине изоляционного эксперимента у 4 обследованных женщин значения большинства показателей, отражающих морфофункциональное состояние эритроцитов, за исключением RBC и Hb, находились на уровне исходных величин, не выходя за пределы референтного диапазона. Концентрация гемоглобина и количество эритроцитов у двух испытуемых имели тенденцию к снижению. Наблюдаемое резкое уменьшение значений всех исследованных параметров на 188-е сутки у двух участниц эксперимента и на 251-е сутки у одной из них обусловлено наступлением фолликулярной фазы менструального цикла. На заключительном этапе изоляции, начиная с 313-х суток, у всех участниц наблюдалось снижение количества эритроцитов, концентрации гемоглобина, величины гематокрита, значения фактора микроцитарной анемии и концентрации ферритина. На 5-е сутки периода восстановления значения вышеуказанных показателей и концентрации железа были ниже границ физиологической нормы. Так как на протяжении всего изоляционного эксперимента и в раннем ПВ значения MCV у 4 обследованных женщин оставались в пределах референтного диапазона, а изменения концентраций Hb, ферритина и железа в крови соответствовали лабораторно-диагностическим критериям железодефицитной анемии (ЖДА), можно полагать, что у участниц SIRIUS-23 на заключительном этапе изоляции наблюдался латентный дефицит железа. Согласно действующим клиническим рекомендациям Министерства здравоохранения РФ по ЖДА, концентрация гемоглобина < 110 г/л, ферритина < 11 нг/мл и содержание железа < 10,7 мкмоль/л указывают на наличие данной нозологической формы.

Заключение. Динамика изменений эритроцитарных индексов и показателей обмена железа во время 366-суточного изоляционного эксперимента свидетельствуют о латентной стадии железодефицитной анемии в раннем периоде восстановления у всех участниц.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания РАН FMFR-2024-0039.

DYNAMICS OF ERYTHROCYTE INDICES AND IRON METABOLISM PARAMETERS IN WOMEN DURING A 366-DAY ISOLATION EXPERIMENT SIRIUS-23

Serova A.V., Zhuravleva O.A., Rykova M.P., Zhuravleva T.V.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

aniuta.serova2010@yandex.ru

Introduction. Isolation experiments in a hermetic facility with artificially set environmental parameters make it possible to simulate the performance of professional activities by analogy with space activities and the organization of communication with simulated flight support services identically to real expeditions to the International Space Station. It has been revealed that physical inactivity, gas composition, humidity, pressure, temperature and other environmental parameters of a hermetic facility, as well as nutritional characteristics of participants in isolation experiments, can affect the direction and intensity of metabolism, including iron metabolism. An increase in iron concentration by more than 2 times was observed in the blood serum of male volunteers during 105-day isolation in a hermetic facility. At the same time, in the 17-day SIRIUS isolation experiment, women showed an almost twofold decrease in serum iron content on the 2nd and 7th days of the recovery period, which was due to the physiological characteristics of the female body. However, the information available in the available literature regarding iron metabolism and morphofunctional characteristics of erythrocytes in experiments with isolation in a hermetic object is fragmentary and few.

The aim of the present work was to study changes in erythrocyte indices and indicators of iron metabolism in women in a 366-experiment with isolation in a sealed facility with artificially set habitat parameters.

Materials and Methods. Four female volunteers aged 27 to 36 years who signed informed consent participated in the study conducted as part of the isolation experiment SIRIUS-23. The program of the experiment was approved by the Biomedical Ethics Commission of the State Research Center of the Russian Federation IMBP RAS (Protocol No. 643 of July 7, 2023).

Venous blood was collected from the subjects from the ulnar vein in the morning, on an empty stomach, 28 days before the start of the experiment (baseline examination), during the isolation period on the 61st, 188th, 251st, 313th and 354th days, as well as on the 5th day in the recovery period.

In whole blood stabilized with K3-EDTA, 7 parameters were determined: red blood cell count (RBC), hemoglobin concentration (Hb), hematocrit value (Ht), mean erythrocyte volume (MCV), mean hemoglobin content in erythrocytes (MCH), mean hemoglobin concentration in erythrocyte mass (MCHC), erythrocyte volume distribution width (RDW). The parameters were measured on an automatic hematology analyzer Celltac α+ MEK 6318K (Nihon Kohden, Japan). Iron concentrations were determined in the blood serum of the subjects by absorption photometry on an automatic biochemical analyzer TARGA BT 3000 (Biotecnica Instruments, Italy), and ferritin concentrations were measured by enzyme immunoassay on a tablet enzyme immunoassay analyzer Stat-Fax-2100 (Awareness Technology, USA). In addition to the determined parameters, the microcytic anemia factor (MAF) was calculated.

Statistical processing of the data was not performed because of the small number of participants and the large variability of individual values of the indices and therefore the data are presented in an individual format.

Results and discussion. In the first half of the isolation experiment, in 4 examined women, the values of most indicators reflecting the morphofunctional state of red blood cells, with the exception of RBC and Hb, were at the baseline values, not exceeding the reference range. The hemoglobin concentration and the number of red blood cells in the two subjects tended to decrease. The observed sharp decrease in the values of all the studied parameters on day 188 in two participants of the experiment and on day 251 in one of them is due to the onset of the follicular phase of the menstrual cycle. At the final stage of isolation, starting from day 313, all participants showed a decrease in the number of red blood cells, hemoglobin concentration, hematocrit, microcytic anemia factor, and ferritin concentration. On the 5th day of the recovery period, the values of the above indicators and iron concentrations were below the limits of the physiological norm. Since throughout the isolation experiment and in early PV, the MCV values in 4 examined women remained within the reference range, and changes in Hb, ferritin, and iron concentrations in the blood corresponded to laboratory diagnostic criteria for iron deficiency anemia (IDA), it can be assumed that the SIRIUS-23 participants at the final stage Latent iron deficiency was observed in isolation. According to the current clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation on iron deficiency anemia (IDA), hemoglobin concentration < 110 g/l, ferritin < 11 ng/ml and iron content < 10.7 μmol/l indicate the presence of this pathological condition.

Conclusion. The dynamics of changes in erythrocyte indices and iron metabolism parameters during the 366-day isolation experiment indicated a latent stage of iron deficiency anemia in the early recovery period in all participants.

The work was performed within the framework of the theme of the state assignment of the Russian Academy of Sciences FMFR-2024-0039.

ОСОБЕННОСТИ СЛУХОВОЙ ФУНКЦИИ ДОБРОВОЛЬЦЕВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ (366 СУТОК) ИЗОЛЯЦИИ

Сигалева Е.Э., Пасекова О.Б., Мацнев Э.И., Сигалева Т.В., Иванов К.П.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

obp1710@gmail.com

Аннотация. С участием 6 добровольцев (2 мужчины, 4 женщины), в возрасте от 25 до 37 лет, средний возраст (Mean±SD) – 30,8 ± 4,4 лет проведено исследование функционального состояния органа слуха до и после 366 суточной изоляции. Использовали методы регистрации тональной пороговой аудиометрии (ТПА), задержанной вызванной отоакустической эмиссии (ЗВОАЭ) и отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения (ПИОАЭ). Оценивали пороги слуха, дБ; показатели отношения сигнал/шум, дБ и воспроизводимости вызванного ответа, %. Анализ полученных данных показал некоторую позитивную динамику функционального состояния органа слуха (в рамках диапазона физиологических нормативных значений параметров ТПА, ЗВОАЭ и ПИОАЭ) у добровольцев после длительной изоляции.

Ключевые слова: орган слуха, тональная пороговая аудиометрия, задержанная вызванная отоакустическая эмиссия, отоакустическая эмиссия на частоте продукта искажения, длительная изоляция.

Введение. Известно, что одним из патогенных факторов, оказывающих воздействие на орган слуха и слуховую функцию является повышенный уровень шума окружающей среды. Исследования, проведенные в ряде крупных городов Российской Федерации, продемонстрировали, что 25–40 % населения проживает на территориях, где уровень шумового загрязнения существенно превышает допустимые нормативные значения. Шум является ведущей причиной развития профессиональных заболеваний, приводящих к снижению и полной утрате трудоспособности и наносящих существенный экономический ущерб. Программой ООН по окружающей среде ЮНЕП шум был определен как одна из трех ведущих экологических угроз, требующая повышенного внимания.

Длительная экспозиция повышенного шума оказывает неблагоприятное воздействие на улитку внутреннего уха и функциональное состояние органа слуха человека.

В продолжительном (многомесячном) космическом полете шум оказывает постоянное (непрерывное и круглосуточное) воздействие на орган слуха космонавта, что не исключает его негативного (кумулятивного) эффекта на функциональное состояние органа слуха.

Признавая важность проблемы сохранения слуха у космонавтов, в связи с продолжительным воздействием шума в космическом полете проведение научных исследований в наземных экспериментах, моделирующих отдельные факторы полета, является актуальным и обоснованным подходом к данной проблеме.

Цель исследования – оценка функционального состояния органа слуха человека после пребывания в условиях длительной (366 суток) изоляции.

Методология и результаты исследования. Оценка функционального состояния органа слуха проводилась до и после) пребывания добровольцев в условиях длительной (366 суток) изоляции.

Все исследования проводились в условиях минимизации внешнего шумового фона.

Для оценки функционального состояния слуховой системы добровольцев проводились методики тональной пороговой аудиометрии (ТПА), задержанной вызванной отоакустической эмиссии (ЗВОАЭ) и отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения (ПИОАЭ). Регистрация ТПА (воздушное проведение) проводилась по стандартной методике тональной пороговой аудиометрии в диапазоне частот от 125 до 8000 Гц. Регистрировались пороги слуха на указанных частотах. Для ЗВОАЭ использовали стимуляцию широкополосными акустическими щелчками в диапазоне от 1 до 4 кГц. ПИОАЭ вызывалась парой чистых тонов с частотой *f*1 и *f*2, подаваемых в слуховой проход. Использовали интенсивности *f*1— 65дБ, *f*2— 55дБ уровня звукового давления на частотах стимуляции диапазона от 998 до 8000 Гц. Исследование ЗВОАЭ и ПИОАЭ проводилось моноаурально – поочередно для правого и левого уха. Оценивали показатели отношения сигнал/шум, дБ и воспроизводимости ответа, %.

Показатели порога восприятия по данным ТПА до и после эксперимента находились в пределах 0–25 дБ (норма слуха). Повышения порога восприятия выше 25 дБ, характерных для потери слуха различной степени не отмечалось. После эксперимента отмечалась некоторая позитивная динамика: регистрировались более низкие значения порога слуха на всем диапазоне исследуемых частот. Исключение составила частота 8000 Гц, где наблюдалось повышение порога слухового восприятия звука. Для оценки нарушений слуховой функции изолированное изменение параметров на этой частоте не является клинически значимым. Диапазон снижения порога слуха (улучшения восприятия звука) для частот от 125 Гц до 6000 Гц составил в

среднем по группе, для правого уха -2,2 дБ, для левого уха – 4,0 дБ. Для частоты 8000 Гц средне групповые значения повышения порога восприятия составили – для правого уха – 1,7 дБ, для левого уха – 2,5 дБ. Для всех предъявленных частот (от 125 Гц до 8000 Гц) показатели порога слуха, как для правого, так и для левого уха, находились в границах нормативных значений.

По результатам оценки исследования двух классов отоакустической эмиссии – ЗВОАЭ и ПИОАЭ после эксперимента отмечалось повышение параметров отношения сигнал/шум отоакустического ответа на всем предъявленном диапазоне частот, как для правого, так и для левого уха. Полученные данные отражают некоторую тенденцию повышения чувствительности наружных волосковых клеток улитки внутреннего уха к восприятию звукового стимула. Показатели воспроизводимости ответа до и после эксперимента составили 85,2 ± 5.4 и 84,5 ± 5,5 (%), соответственно, что указывает на высокую репрезентативность полученных данных вызванного ответа. Показатели ЗВОАЭ и ПИОАЭ до и после эксперимента сохранялись в пределах референсных значений.

Результаты, полученные при регистрации тональной пороговой аудиометрии (ТПА) и регистрации отоакустической эмиссии двух классов: ЗВОАЭ и ПИОАЭ после длительной изоляции могут свидетельствовать, предположительно, о некоторой позитивной динамике функционального состояния слуховой системы у добровольцев (в рамках диапазона физиологических нормативных значений параметров ТПА, ЗВОАЭ и ПИОАЭ).

Выводы. После длительной 366-суточной изоляции у добровольцев не наблюдалось существенных изменений слуховой функции. Выявленную некоторую позитивную динамику (в пределах колебаний физиологических референсных значений) можно объяснить снижением агрессивной внешней шумовой нагрузки (в частности, условий проживания в мегаполисе, шума транспорта (метро, автомобили), ограничение пользования наушниками, прослушивания музыки, просмотра ТВ и.т.д.). Также, возможно, она может быть обусловлена сбалансированным рационом питания добровольцев с применением витаминов и микроэлементов в условиях эксперимента.

Тема Госзадания FMFR-0039-2024.

FEATURES OF THE AUDITORY FUNCTION OF VOLUNTEERS AFTER LONG-TERM (366 DAYS) ISOLATION

Sigaleva E.E., Pasekova O.B., Matsnev E.I., Sigaleva T.V., Ivanov K.P.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

obp1710@gmail.com

Abstract. The functional state of the hearing organ was studied in 6 volunteers (2 men, 4 women) aged 25 to 37 years, average age (Mean±SD) – 30.8 ± 4.4 years before and after 366 days of isolation. The methods of recording pure tone threshold audiometry (TPA), trancient evoked otoacoustic emission (TEOAE) and distortion product otoacoustic emission (DPOAE) were used. The hearing thresholds were estimated in dB; the signal-to-noise ratio, in dB and the reproducibility of the evoked response, in %. The analysis of the obtained data showed some positive dynamics of the functional state of the hearing organ (within the range of physiological normative values of the TPA, TEOAE and DPOAE parameters) in volunteers after long-term isolation.

Keywords: hearing organ, pure-tone threshold audiometry, trancient evoked otoacoustic emission, distortion product otoacoustic emission, long-term isolation.

Introduction. It is known that one of the pathogenic factors affecting the organ of hearing and auditory function is an increased level of environmental noise. Studies conducted in a number of large cities of the Russian Federation have demonstrated that 25–40 % of the population lives in areas where the level of noise pollution significantly exceeds permissible regulatory values. Noise is the leading cause of occupational diseases that lead to a decrease and complete loss of working capacity and cause significant economic damage. The UN Environment Programme (UNEP) has identified noise as one of the three leading environmental threats requiring increased attention.

Long-term exposure to increased noise has an adverse effect on the cochlea of the inner ear and the functional state of the human hearing organ.

During a long (month-long) space flight, noise has a constant (continuous and round-the-clock) effect on the cosmonaut's hearing organ, which does not exclude its negative (cumulative) effect on the functional state of the hearing organ. Recognizing the importance of the problem of preserving hearing in astronauts, in connection with

the prolonged impact of noise during space flight, conducting scientific research in ground-based experiments simulating individual flight factors is a relevant and justified approach to this problem.

The aim of the study is to assess of the functional state of the human hearing organ after being in conditions of long-term (366 days) isolation.

Methodology and results of the study. The functional state of the auditory organ was assessed before and after the volunteers were in long-term (366 days) isolation.

All studies were conducted under conditions of minimizing external background noise.

To assess the functional state of the auditory system of volunteers, the methods of pure tone threshold audiometry (TPA), trancient evoked otoacoustic emission (TEOAE) and distortion product otoacoustic emission (DPOAE) were used. TPA (air conduction) was recorded using the standard method of pure tone threshold audiometry in the frequency range from 125 to 8000 Hz. Hearing thresholds were recorded at the specified frequencies. For TEOAE, stimulation with broadband acoustic clicks in the range from 1 to 4 kHz was used. DPOAE was evoked by a pair of pure tones with a frequency of *f*1 and *f*2, fed into the ear canal. We used intensities *f*1– 65 dB, *f*2– 55 dB of the sound pressure level at stimulation frequencies in the range from 998 to 8000 Hz. The study of TEOAE and DPOAE was conducted monaurally – alternately for the right and left ears. We estimated the signal-to-noise ratio, dB and response reproducibility, %.

The perception threshold indicators according to the TPA data before and after the experiment were within 0–25 dB (hearing norm). An increase in the perception threshold above 25 dB, typical for hearing loss of varying degrees, was not noted. After the experiment, some positive dynamics were noted: lower hearing threshold values were recorded over the entire range of frequencies studied. The exception was the frequency of 8000 Hz, where an increase in the threshold of auditory perception of sound was observed. For assessing auditory function disorders, an isolated change in parameters at this frequency is not clinically significant. The range of hearing threshold reduction (improvement of sound perception) for frequencies from 125 Hz to 6000 Hz was, on average, for the group, for the right ear -2.2 dB, for the left ear – 4.0 dB. For a frequency of 8000 Hz, the average group values of the increase in the perception threshold were - for the right ear – 1.7 dB, for the left ear – 2.5 dB. For all frequencies presented (from 125 Hz to 8000 Hz), the hearing threshold indicators for both the right and left ears were within the normal values. According to the results of the study of two classes of otoacoustic emission - TEOAE and DPOAE, after the experiment, an increase in the signal-to-noise ratio parameters of the otoacoustic response was noted over the entire frequency range presented, for both the right and left ears. The obtained data reflect a certain tendency of increasing the sensitivity of the outer hair cells of the cochlea of the inner ear to the perception of a sound stimulus. The response reproducibility indices before and after the experiment were 85.2 ± 5.4 and 84.5 ± 5.5 (%), respectively, which indicates a high representativeness of the obtained evoked response data. The TEOAE and DPOAE indices before and after the experiment remained within the reference values. The results obtained during the registration of pure tone threshold audiometry (TPA) and the registration of otoacoustic emission of two classes: TEOAE and DPOAE after long-term isolation may indicate, presumably, some positive dynamics of the functional state of the auditory system in volunteers (within the range of physiological normative values of the TPA, TEOAE and DPOAE parameters).

Conclusions. After a long 366-day isolation, volunteers showed no significant changes in their auditory function. The positive dynamics that were revealed (within the range of physiological reference values) can be explained by a decrease in aggressive external noise load (in particular, living conditions in a metropolis, transport noise (metro, cars), limiting the use of headphones, listening to music, watching TV, etc.). It may also be due to the balanced diet of the volunteers with the use of vitamins and microelements under the experimental conditions.

ЭРГАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СТРЕССА ПИЛОТОВ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Ситников А.В., Матюшев Т.В., Счастливцева Д.В.

ЦНИИ ВВС Минобороны РОССИИ, Москва, Россия

sitnikovandr57@gmail.com

Профессия пилота гражданской авиации относится к числу наиболее ответственных и экстремальных. В условиях интенсивного роста объемов авиаперевозок и усложнения задач управления воздушными судами особую актуальность приобретает проблема стрессоустойчивости летного состава. Такие стрессовые факторы как высокая ответственность, дефицит времени на принятие решений и влияние внешних условий, могут снижать эффективность работы пилотов и приводить к ошибкам.

Согласно статистике, около 70 % авиационных происшествий связаны с человеческим фактором, причем значительная часть этих случаев обусловлена стрессом. Существующие методы подготовки, включая авиатренажеры, часто не учитывают индивидуальные особенности пилотов и не предоставляют инструментов для управления психофизиологическим состоянием. Таким образом, повышение стрессоустойчивости пилотов является актуальной проблемой и ее решение необходимо для увеличения уровня безопасности полетов.

Целью работы являлась разработка авиационной эргатической системы с биологически обратной связью (БОС) для формирования стрессоустойчивости и повышения работоспособности при решении профессиональных задач у пилотов гражданской авиации.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. На основе обзора литературных данных выбраны в качестве биомаркеров были выбраны показатели электроэнцефалограммы (ЭЭГ), фотоплетизмограммы (ФПГ) и электрической активности кожи (ЭАК).
2. Разработан датчик для регистрации ЭАК в виде браслета с электродами на запястье.
3. Разработана структурная блок-схема авиационной эргатической системы.
4. Разработана математическая модель ЭАК.

На основе анализа литературных данных для оценки психоэмоционального состояния в качестве биомаркеров были выбраны объективные физиологические показатели: частота сердечных сокращений, тета-ритм медиальной префронтальной коры, реакция сопротивление кожи.

Для регистрации основного измеряемого физиологического показателя – сопротивления кожи был разработан датчик регистрации. Так как измерение реакции сопротивления кожи необходимо проводить при выполнении пилотом профессиональных задач (настройка параметров полета, управление воздушным судном и т.п.) размещение электродов на пальцах, как это обычно делается, не представляется возможным. Это вызовет дискомфорт при осуществление профессиональной деятельности, а также приведет к постоянному смещению электродов и появлению артефактов в измеряемом сигнале. Поэтому, использование датчика регистрации ЭАК, размещаемого на запястье, позволит минимизировать риск возникновения таких проблем. На внутренней поверхности браслета закреплены электроды, связанные с источником тока и микропроцессорным блоком обработки сигналов, установленными в корпусе, размещенном на наружной поверхности браслета.

В целом, разрабатываемая система, объединяющая пилота (человека) и технические средства для анализа и управления его состояния в реальном времени включает:

– набор из трех датчиков, регистрирующих ЭАК, ЭЭГ и ФПГ, на основе которых формируется БОС;

– центральный модуль управления, в котором осуществляется вторичная фильтрация и программная обработка зарегистрированных сигналов, а также выработка управляющих воздействий;

– авиационный тренажер, работающий в едином контуре с центральным модулем управления;

–светодиодную ленту, расположенную под жидкокристаллическими экранами авиатренажера. С помощью нее осуществляется БОС.

Была разработана математическая модель реакции ЭАК позволяющая оценить динамику амплитудных характеристик измеряемой реакции сопротивления кожи и графически отобразить экспериментально измеренные параметры. Для моделирования кривой изменения сопротивления кожи человека в ответ на психофизиологические раздражители использовалась модифицированная формула экспоненциального отклика из регрессионного анализа. Что бы получить более точные результаты эксперимента, разработка математической модели базировалась на усредненных данных, полученных за последние 20 лет по измерению ЭАК в различных экспериментах. Были получены два графика зависимости сопротивления кожи на подушечках пальцев руки и кожи запястья в момент времени.

Для возможности сопоставления данных, полученных с запястья руки, с литературными данными других исследований, в которых регистрация ЭАК осуществлялась с подушечек пальцев, был рассчитан коэффициент, показывающий отношение сопротивления кожи на подушечках пальцев и на запястье руки в момент времени.

При эмоционально значимых стимулах (позитивных/негативных) амплитуда ЭАК возрастает на 8–100 % относительно фоновых значений (уровень базового сопротивления), что позволяет определить состояние пилота в динамике.

Анализ проведенных исследований показал, что несмотря на то, что ЭАК является одним из лучших индикаторов стресса, использование только сигнала ЭАК не позволит четко и верно (с необходимой точностью) определять паттерны в регистрируемом сигнале. Для правильной интерпретации измеряемой кривой ЭАК необходимо более глубокое изучение взаимной корреляции с другими измеряемыми физиологическими параметрами, в нашем случае это ЭЭГ и ЧСС.

Таким образом, разработанная система позволит уйти от субъективной оценки психологического состояния, перейдя к объективной оценке на основе систем регистрации физиологического состояния и синергии их в единую систему.

ERGATIC BIOFEEDBACK STRESS MONITORING SYSTEM FOR PILOTS

Sitnikov A.V., Matyushev T.V., Schastlivtseva D.V.

Center Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

sitnikovandr57@gmail.com

The profession of a civil aviation pilot is one of the most challenging and demanding. In the context of the rapid growth of air traffic and the increasing complexity of aircraft operations, the issue of flight crew stress tolerance has become particularly relevant. Factors such as high levels of responsibility, limited time for decision-making, and the influence of external circumstances can lead to decreased efficiency and mistakes on the part of pilots.

Statistics show that approximately 70 % of aviation incidents are attributed to the human element, with a significant portion being caused by stress-related factors. Current training methods, including pilot training, often fail to account for the individual differences among pilots and provide tools to manage their psychophysiological state. Therefore, enhancing the stress tolerance of aviation professionals is an urgent issue that must be addressed in order to improve flight safety.

The aim of the project was to develop an aviation ergonomic system with biofeedback for the formation of stress tolerance and increased efficiency among civil aviation pilots. To achieve this goal, we solved the following tasks:

1. We selected the parameters for recording electroencephalogram (EEG), photoplethysmogram (PHPG), and skin electrical activity (EAC), based on a literature review.
2. We developed a sensor to record EAC in the form of a wristband with electrodes.
3. We created a structural block diagram for the aviation ergonomic system.
4. We developed a mathematical model of EAC in response to psychophysiological stimuli.
5. Based on literature data, we selected objective physiological indicators as biomarkers for assessing the psycho-emotional state, such as heart rate, theta rhythm of the medial prefrontal cortex, and skin resistance response.

A registration sensor has been developed to measure the main physiological indicator - skin resistance. As measuring the skin's reaction must be done when the pilot is performing professional tasks (adjusting flight parameters, controlling an aircraft, etc.), placing electrodes on the fingers, as is usually done, is not practical. This would cause discomfort for the pilot and lead to constant displacement of the electrodes, resulting in artifacts in the signal. Therefore, using an EAC sensor placed on the wrist minimizes the risk of these problems. Electrodes connected to a current source and microprocessor signal processing unit are fixed on the inside of the bracelet, which is housed on the outside of the wrist.

In general, the system under development, which combines human and technical means for analyzing and monitoring the pilot's condition in real-time, includes:

– a set of three sensors that record EAC, EEG, and FPG, on which the BOS is based;

– a central control module where secondary filtering and software processing of the recorded signals take place, as well as generation of control actions;

– an aviation simulator that operates in a closed loop with the central control module;

– an LED strip located beneath the liquid crystal displays of the simulated aircraft, which is used for BOS.

A mathematical model of the electrodermal activity (EDA) response has been developed to evaluate the dynamics of the amplitude characteristics of skin resistance measured during experiments and to graphically display experimentally measured parameters.

To model the curve of human skin resistance changes in response to psychophysiological stimuli, we used a modified exponential response function from regression analysis. In order to obtain more accurate results, the mathematical model was developed based on average data collected over the past 20 years from various EDA experiments.

Two graphs of the dependence of skin resistance R(tz) on time (tz) were obtained from the fingertips and wrist pads of a subject. These graphs show the changes in skin resistance over time in response to different stimuli.

In order to compare the data obtained from the wrist with literature data and other studies where EAC was recorded from finger pads, the coefficient (showing the ratio of skin resistance on finger pads and skin resistance at the wrist at a given time tz) was calculated. This allowed us to obtain identical values for skin resistance from the wrist and finger pads.

With emotionally significant stimuli (positive or negative), the amplitude of EAC increased by 8–100 % compared to background values (baseline resistance level), allowing us to monitor the pilot's condition in real time.

An analysis of the studies conducted has shown that, although the EAC is a good indicator of stress, using it alone will not allow for clear and accurate identification of patterns in the recorded data. To correctly interpret

the EAC curve, it is necessary to conduct a deeper analysis of its cross-correlation with other physiological parameters, such as EEG and heart rate.

The developed system will enable us to move away from subjective assessments of psychological state and towards an objective approach based on physiological measurements and their integration into a unified system.

ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА В УСЛОВИЯХ ИЗОЛЯЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Соломадин Ю.С., Артемьева О.А., Колесников Д.Ю., Васильева Г.Ю., Афонин Б.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

solomadin69@yandex.ru

Цель. Оценить электрическую активность (ЭА) различных отделов ЖКТ и динамику специфических для ЖКТ биохимических маркеров при пребывании испытателей в условиях годовой изоляции (эксперимент SIRIUS-23).

Задачи.

– сравнить мощности ЭА различных отделов ЖКТ до начала и к моменту окончания периода изоляции натощак, во время завтрака и в течение двух часов после завтрака;

– оценить уровень биохимических показателей функциональной активности ЖКТ в венозной крови (пепсиноген I и II, гастрин-17) и в кале (стеатокрит, желчные кислоты) до начала и к моменту окончания периода изоляции, натощак;

– установить статистические связи между электрофизиологическими и биохимическими параметрами функционального состояния ЖКТ.

Материал и методы. В исследовании участвовали 6 испытателей-добровольцев (4 женщины и 2 мужчин в возрасте от 27 до 35 лет), прошедшие комиссию и подписавшие Информированное согласие для участия в эксперименте. Исследование мощности ЭА проводили с использованием гастроэнтерографа ГастроСкан-ГЭМ в 2 отведениях дважды – за 14 суток до начала и за 5–7 суток до окончания изоляции в гермообъекте. Исследование начиналось утром натощак (30 минут) и продолжалось во время завтрака и в течение 2 часов после завтрака. Для того, чтобы нивелировать индивидуальные различия в расположении органов брюшной полости, высчитывали среднее арифметическое по двум отведениям. Полученные результаты имели нормальное распределение и были представлены в виде графиков. При статистической обработке использовался Т-критерий Стьюдента ($p < 0,05$).

Анализ уровня гастрина-17, пепсиногена I и II в венозной крови, а также стеатокрита и желчных кислот в кале проводили в фоновый период (9-8 сутки до начала эксперимента), а также на 363–365-е сутки периода изоляции. Исследование гастрина-17, пепсиногена I и II (%) в пробах крови проводили методом ИФА с использованием коммерческих тест-систем, исследования кала физико-химическими методами анализа и методами микроскопии. Результаты исследований были обработаны с использованием непараметрических методов (тест Данна) для оценки статистической значимости различий.

Результаты. Результаты исследования ЭА показали, что в фоновом периоде исходно низкая натощак ЭА быстро повышается во время завтрака во всех отделах ЖКТ – в 2–3 раза для желудка и толстого кишечника и до 5–6 раз для тонкого кишечника. В течение двух часов после завтрака происходит снижение ЭА в 2–3 раза и она становится сопоставимой с исходной ЭА натощак.

Сравнение ЭА в фоновом периоде с ЭА в конце изоляции выявило значительное повышение ЭА натощак по сравнению с фоновыми значениями – в 8 раз для желудка и толстого кишечника и в 20 раз для тонкого кишечника. Во время приема пищи ЭА несколько снижалась и в течение 2 часов после завтрака отмечалась тенденция к восстановлению исходным значениям ЭА натощак до завтрака. Полученные результаты являются статистически значимыми и вероятно связаны с дисфункцией ЖКТ, возникшей у испытателей в период изоляции.

Уровень гастрина-17 и пепсиногена I и II статистически значимо не менялись в ходе эксперимента, при этом отмечалось повышение уровня стеатокрита кала ближе к концу эксперимента ($p = 0,0018$). Медиана уровня желчных кислот в кале в конце эксперимента (25,33) также значительно превышала медиану значения до начала изоляции (0,2), но различия не были статистически значимыми ($p = 0,0787$).

Изменения электрической активности органов ЖКТ, возникшие в ходе эксперимента, согласуются с изменениями биохимических показателей в кале (стеатокрит, желчные кислоты). Полученные изменения могут быть проявлениями возникшей в ходе эксперимента внешнесекреторной недостаточности поджелудочной железы либо нарушением секреции желчи и обратного всасывания желчных кислот в подвздошной кишке. Возможными причинами полученных изменений могло послужить изменение привычного паттерна питания участников изоляционного эксперимента (избыток жиров в питании, дефицит пищевых волокон). Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск и анализ причин полученных в ходе эксперимента изменений функциональной активности органов ЖКТ, в частности, проведение детального анализа питания участников эксперимента.

DYNAMICS OF ELECTROPHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF THE FUNCTIONAL ACTIVITY OF THE GASTROINTESTINAL TRACT DURING AN ISOLATION EXPERIMENT

Solomadin Yu.S., Artemyeva O.A., Kolesnikov D.Yu.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

solomadin69@yandex.ru

Objective. To evaluate the electrical activity (EA) of various sections of the gastrointestinal tract (GIT) and the dynamics of GIT-specific biochemical markers in test subjects during a one-year isolation period (SIRIUS-23 experiment).

Tasks.

- To compare the EA power of different GIT sections before the start and at the end of the isolation period under fasting conditions, during breakfast, and over the two hours following breakfast;
- To assess the levels of biochemical indicators of GIT functional activity in venous blood (pepsinogen I and II, gastrin-17) and in stool (steatocrit, bile acids) before the start and at the end of the isolation period under fasting conditions;
- To establish statistical relationships between electrophysiological and biochemical parameters of the GIT functional state.

Materials and Methods. The study involved 6 volunteer test subjects (4 women and 2 men aged 27 to 35 years) who passed the medical commission and signed the Informed Consent form for participation in the experiment.

EA power was measured using a GastroScan-GEM gastroenterograph in 2 leads twice: 14 days before the start and 5–7 days before the end of isolation in the hermetic chamber. The study began in the morning under fasting conditions (30 minutes) and continued during breakfast and for two hours afterward. To account for individual differences in abdominal organ positioning, the arithmetic mean of the two leads was calculated. The obtained results followed a normal distribution and were presented graphically. Statistical processing used Student's t-test ($p < 0.05$).

Analysis of gastrin-17, pepsinogen I and II levels in venous blood, as well as steatocrit and bile acids in stool, was performed during the baseline period (days 9–8 before the experiment start) and on days 363–365 of the isolation period. Gastrin-17 and pepsinogen I and II (%) in blood samples were measured using the ELISA method with commercial test systems; stool analysis was performed using physicochemical methods and microscopy. Results were processed using non-parametric methods (Dunn's test) to assess the statistical significance of differences.

Results. The results of the EA study showed that during the baseline period, the initially low fasting EA rapidly increased during breakfast in all GIT sections – by 2-3 times for the stomach and large intestine, and up to 5-6 times for the small intestine. Over the two hours following breakfast, EA decreased by 2-3 times, returning to levels comparable to the initial fasting EA.

Comparison of EA in the baseline period with EA at the end of isolation revealed a significant increase in fasting EA compared to baseline values – by 8 times for the stomach and large intestine and by 20 times for the small intestine. During food intake, EA slightly decreased, and over the 2 hours after breakfast, a tendency towards restoration of the baseline pre-breakfast fasting EA levels was observed. The obtained results are statistically significant and are likely associated with GIT dysfunction that developed in the test subjects during isolation.

The levels of gastrin-17 and pepsinogen I and II did not change statistically significantly during the experiment, while an increase in stool steatocrit levels was noted closer to the end of the experiment ($p = 0.0018$). The median level of bile acids in stool at the end of the experiment (25.33) also significantly exceeded the median value before the start of isolation (0.2), but the difference was not statistically significant ($p = 0.0787$).

The changes in GIT electrical activity observed during the experiment are consistent with changes in biochemical indicators in stool (steatocrit, bile acids). The observed changes may represent manifestations of exocrine pancreatic insufficiency or impaired bile secretion and reabsorption of bile acids in the ileum that developed during the experiment. Possible reasons for the observed changes could include alterations in the habitual dietary patterns of the isolation experiment participants (excessive fat intake, dietary fiber deficiency). Further research should be aimed at identifying and analyzing the causes of the changes in GIT functional activity observed during the experiment, in particular, by conducting a detailed analysis of the participants' diet.

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ВО ВРЕМЯ НОЧНОГО СНА И ПАРАМЕТРАМИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ВО ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Стулова Л.С., Яхья Ю.Д., Ковров Г.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

stels999@internet.ru

Оценка восстановительных свойств сна и эффективности выполнения операторских функций в экстремальных условиях необходима для предотвращения риска развития дневной сонливости, снижения трудоспособности, астении, усталости. Известно, что метод актиграфии является одним из наиболее простых и информативных методов мониторинга циркадианных ритмов и продолжительности сна, которые в свою очередь могут изменяться в условиях длительной изоляции. Традиционные методы изучения двигательной активности в период бодрствования с использованием акселерометрии, как правило, ограничиваются оценкой ее количественных параметров – числа шагов, энергозатрат или продолжительности физической нагрузки. Однако разработанный нами инновационный подход предлагает принципиально новую метрику – анализ низкоинтенсивной двигательной активности – которая позволяет не только оценивать уровень дневной сонливости, но и возможно выявлять скрытые паттерны моторного поведения в состоянии бодрствования. Ключевой гипотезой исследования стала идея о нейробиологической взаимосвязи между ночной и дневной двигательной активностью. Мы предположили, что спонтанные движения во время сна (лишенные сознательного контроля) и целенаправленные моторные акты в период бодрствования могут иметь общую основу – неосознаваемые двигательные стереотипы, формируемые на уровне базальных ганглиев и премоторной коры. Эти двигательные паттерны, по нашему мнению, проявляются как в движениях во время ночного сна, так и в автоматизированных компонентах сложных моторных задач при выполнении рабочих операций.

Цель исследования – выявление взаимосвязи между параметрами двигательной активности во время ночного сна и во время операторской деятельности при использовании бесконтактной акселерометрии в условии длительной изоляции.

В исследовании участвовали 6 членов экипажа, 4 женщин и 2 мужчин. Регистрация двигательной активности производилась прибором «Кардиосон», который представляет собой пластину (размеры 40 на 40 на 0,4 см), которая размещалась 1 раз в месяц под матрасом испытателя в периоды сна, а также 1 раз в месяц на 30 минут в дневное время на кресле испытуемого в период выполнения методики «Ровер» (заявка «Созвездие-Сириус»). В ходе эксперимента было получено 70 ночных записей, которые длились в среднем 7–8 часов каждая и 70 дневных записей во время операторской деятельности, которые длились около 30 минут каждая. Использовалась компьютерная программа «Морфей» для обработки данных, записанных при помощи акселерометра, включающих оценку количества участков двигательной активности, их продолжительности, а также интенсивности (силы) участков движения. Расчет показателей двигательной активности проводился в скользящем 5-минутном окне с шагом 5 минут. Статистическая обработка осуществлялась в программе Statistica 10.0 (StatSoft, США). Был произведен корреляционный анализ параметров движений в течение ночи с параметрами двигательной активности при операторской деятельности (критерий корреляции Спирмена, *– $p \leq 0.05$).

Была найдена положительная взаимосвязь между ночными и дневными измерениями с двумя параметрами двигательной активности: участками слабого движения > 30 сек во время сна и количеством всех участков движения во время бодрствования ($r = 0,26$, $p < 0,05$). Продолжительность слабых движений во время сна была положительно связана с увеличением количества участков двигательной активности в ходе операторской деятельности ($r = 0,26$, $p < 0,05$). Суммарная длительность всех участков превыша-

ющих 30 секунд, как в процентах, так и в минутах была положительно связана с количеством участков слабых движений во время выполнения операторской деятельности ($r = 0,33$, $p < 0,05$). Достоверная взаимосвязь между продолжительностью, количеством сильных движений в течение ночи и движениями разной интенсивности в течение последующего дня не выявлялась.

Таким образом, была выявлена взаимосвязь между параметрами двигательной активности во время ночного сна и во время операторской деятельности в условиях длительной изоляции. Исследование показало наличие корреляции между моторными проявлениями в период ночного сна и во время выполнения операторских задач в состоянии бодрствования. Это свидетельствует о формировании в процессе ночного отдыха устойчивого психофизиологического шаблона, который интегрирует сенсомоторные механизмы сна и бодрствования в единую адаптационную систему. Полученные данные подтверждают выдвинутую гипотезу о существовании трансферного двигательного паттерна, при котором особенности двигательной активности во сне могут служить предиктором моторного поведения в профессиональной деятельности. Выявленные взаимосвязи между движениями во сне и в бодрствовании открывают перспективы для дальнейшего изучения технологий диагностики функциональных возможностей человека на основе анализа двигательных характеристик.

THE CORRELATION BETWEEN THE PARAMETERS OF MOTOR ACTIVITY DURING NIGHT SLEEP AND THE PARAMETERS OF MOTOR ACTIVITY DURING OPERATOR ACTIVITY IN CONDITIONS OF PROLONGED ISOLATION

Stulova L.S., Yahya Y.D., Kovrov G.V.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

stels999@internet.ru

Evaluation of the restorative properties of sleep and the efficiency of performing operator functions in extreme conditions is necessary to prevent the risk of developing daytime sleepiness, decreased performance, asthenia, fatigue. It is known that the actigraphy method is one of the simplest and most informative methods for monitoring circadian rhythms and sleep duration, which in turn can change under conditions of prolonged isolation. Traditional methods of studying motor activity during wakefulness using accelerometry are usually limited to assessing its quantitative parameters - the number of steps, energy expenditure or duration of physical activity. However, the innovative approach we have developed offers a fundamentally new metric - analysis of low-intensity motor activity - which allows not only to assess the level of daytime sleepiness, but also to possibly identify hidden patterns of motor behavior in the wakeful state. The key hypothesis of the study was the idea of a neurobiological relationship between night and daytime motor activity. We hypothesized that spontaneous movements during sleep (devoid of conscious control) and purposeful motor acts during wakefulness may have a common basis – unconscious motor stereotypes formed at the level of the basal ganglia and premotor cortex. These motor patterns, in our opinion, are manifested both in movements during night sleep and in automated components of complex motor tasks when performing work operations.

The aim of the study is to identify the relationship between the parameters of motor activity during night sleep and during operator activity using contactless accelerometry in conditions of long-term isolation.

The study involved 6 crew members, four women and two men. Motor activity was recorded using the Cardioson device, which is a plate (40 by 40 by 0.4 cm in size) that was placed once a month under the test subject's mattress during sleep periods, and also once a month for 30 minutes during the daytime on the test subject's chair during the Rover technique (Sozvezdie-Sirius application). During the experiment, 70 night recordings were obtained, each lasting an average of 7–8 hours, and 70 daytime recordings during operator activity, each lasting about 30 minutes. The computer program «Morpheus» was used to process the data recorded by the accelerometer, including the assessment of the number of areas of motor activity, their duration, and the intensity (strength) of the areas of movement. The calculation of the motor activity indicators was carried out in a sliding 5-minute window with a step of 5 minutes. Statistical processing was carried out in the program Statistica 10.0 (StatSoft, USA). A correlation analysis of the parameters of movements during the night with the parameters of motor activity during operator activity was performed (Spearman correlation criterion, *– $p \leq 0.05$).

A positive relationship was found between night and day measurements with two parameters of motor activity: weak movement areas > 30 sec during sleep and the number of all movement areas during wakefulness ($r = 0.26$, $p < 0.05$). The duration of weak movements during sleep was positively associated with an increase in the number of motor activity areas during operator activity ($r = 0.26$, $p < 0.05$). The total duration of all areas exceeding

30 seconds, both in percentage and in minutes, was positively associated with the number of weak movement areas during operator activity ($r = 0.33$, $p < 0.05$). No significant relationship was found between the duration, number of strong movements during the night and movements of different intensities during the following day.

Thus, a relationship was revealed between the parameters of motor activity during night sleep and during operator activity in conditions of long-term isolation. The study showed the presence of a correlation between motor manifestations during night sleep and during the performance of operator tasks in the waking state. This indicates the formation of a stable psychophysiological pattern during night rest, which integrates the sensorimotor mechanisms of sleep and wakefulness into a single adaptation system. The data obtained confirm the hypothesis put forward about the existence of a transfer motor pattern, in which the features of motor activity during sleep can serve as a predictor of motor behavior in professional activities. The identified relationships between movements in sleep and wakefulness open up prospects for further study of technologies for diagnosing human functional capabilities based on the analysis of motor characteristics.

ВОПРОСЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ОТБОРА И ПОДГОТОВКИ УЧАСТНИКОВ МОДЕЛЬНЫХ НАЗЕМНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ SIRIUS-21 И SIRIUS-23

Суполкина Н.С., Поляниченко А.А., Рюмин О.О.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Natalyasupolkina@yandex.ru

Первым практическим вопросом, стоящим перед космической психологией, был отбор первых космонавтов и последующая их подготовка к полетам. Требования к процедуре отбора определялись условиями космического полета (КП): кумулятивным действием основных психологических стресс-факторов, а также задачами конкретной миссии. Проблематика корректного отбора, создающего фундамент для выстраивания высокопрофессионального отряда космонавтов, не теряет свою актуальность и в настоящее время, хотя со временем процедура отбора и подготовки космонавтов модифицировалась вместе с развитием пилотируемой космонавтики – усложнением программы полета, увеличением продолжительности миссии, а также с накоплением знаний о разных аспектах КП.

В настоящее время изоляционные эксперименты, моделирующие различные аспекты космической миссии, активно применяются не только для отбора и подготовки космонавтов к полету (например, исследование нервно-психической устойчивости кандидата в сурдокамере), но и для исследовательских целей – формирования пула знаний о влиянии основных стресс-факторов длительного космического полета на психику человека – как во время пребывания на борту космического корабля, так во время выполнения отдельных сложных операторских задач. Для этих целей в Институте медико-биологических (ИМБП) проблем был создан уникальный наземный экспериментальный комплекс, позволяющий моделировать такие факторы КП, как сенсорная и социальная изоляция, монотония, автономность функционирования малой группы и т.д. В этих условиях были успешно проведены оригинальные международные эксперименты (MARS-105, MARS-500, Луна-2015, серия экспериментов SIRIUS), в которых были получены результаты, имеющие важное значение для сопровождения современных орбитальных пилотируемых экспедиций, а также для планирования полетов человека вне низких орбит.

В научной литературе широко освещаются данные психологических исследований, полученные во время этих экспериментов, и в меньшей степени – вопросы психологического сопровождения экипажей экспериментальных миссий, фрагментарно – вопросы их психологического отбора и подготовки.

Рассмотрим специфику процедур отбора и подготовки участников изоляционных миссий на материале двух продолжительных экспериментов SIRIUS-21 (8 месяцев) и SIRIUS-23 (12 месяцев), и основные моделируемые экстремальные условия, продолжительность которых, в целом, соответствуют современным космическим полетам.

Если длительность и сложность процедуры отбора и подготовки космонавтов определяется высокими требованиями к кандидатам (способность сохранять высокую работоспособность под непрерывным действием факторов КП, способность к обучению и др.), то специфика психологического отбора участников модельного изоляционного эксперимента и дальнейшая их подготовка определяется иными требованиями к кандидатам, чем к космонавтам. В частности, в отличие от космонавтов, участники экспериментальной миссии работают на протяжении всего времени изоляции без постоянной угрозы их жизни и здоровью. Вместе с этим, для формирования процедуры отбора огромное значение имеет ценностно-смыс-

ловой аспект. Так выбор человека, поступающего в отряд космонавтов – это выбор жизненного пути, то есть, определенная веха в профессиональной карьере. Участие в эксперименте можно рассматривать как вариант получения уникального профессионального и личного опыта, который может не затрагивать глубинных мотивов в смысловой иерархии участника эксперимента. При этом, остаются актуальными психологические требования к участникам экспериментальной миссии: наличие высшего образования, умение эффективно взаимодействовать в команде, определенный уровень стрессоустойчивости (способность переносить монотонию, находиться продолжительное время в условиях сенсорно и социально обедненной среды, будучи в фокусе наблюдения большого количества специалистов внешнего контура и др.).

Особенности процедуры отбора и подготовки в модельных изоляционных экспериментах на базе ИМБП заданы жесткими внешними организационными рамками: ограниченная выборка кандидатов, небольшое время для проведения процедуры отбора и подготовки к экспериментальной миссии (обычно 1-2 месяца до начала эксперимента).

Схема отбора в эксперименты SIRIUS-21 и SIRIUS-23 включала в себя набор психологических диагностических методик и индивидуальное собеседование. Схема подготовки: психологический тренинг (12 часов), тренировка по выживанию в лесных условиях средней полосы РФ.

В психологической диагностике использовались два смысловых блока текста:

1. Личностные особенности: опросник СМОЛ (J. Kincannon, 1968).

2. Межличностные отношения: тест коммуникативной толерантности В.В. Бойко, тест описания поведения К. Томаса, оценка уровня общительности В.Ф. Ряховского и методика диагностики уровня агрессивности (А. Ассингер).

Данные о структуре личности и особенностях межличностной коммуникации позволило психологам осуществлять более ровный, комфортный для участников эксперимента процесс психологической поддержки.

Индивидуальное собеседование дополняло и расширяло данные, полученные с помощью диагностических методик. Вместе с тем, интервью позволяло специалистам, выявить наличие психологических отклонений, которые могут проявиться в условиях изоляции, а также оценить уровень стрессоустойчивости.

Цель проводимого психологического тренинга – командообразование, которое включало развитие навыков эффективного общения и саморефлексии. Тренировка по выживанию включает краткое (24-часовое) освоение базовых приемов выживания в условиях имитации аварийной посадки с минимальным набором инструментов и аварийным запасом. Психологическая цель этого мероприятия – формирование уверенности участников в их способности справиться со сложными нештатными ситуациями, которые моделируются во время основного эксперимента.

К слабым сторонам процедуры психологического отбора и подготовки можно отнести недостаток времени на их проведение. Например, во время тренинга группа успешно пережила только первый этап групповой динамики (знакомство), тогда как второй этап (стадия «конфликта») переживался группой спонтанно (возможно – неэффективно), за пределами тренингового пространства, уже во время эксперимента.

Таким образом, в целом, процедуры психологического отбора и подготовки можно оценить как успешные, ни один из экспериментов SIRIUS-21 и SIRIUS-23 не завершился досрочно. Изоляционные эксперименты представляют собой уникальный инструмент исследования, требующий дальнейшего развития методологии отбора и подготовки участников, что позволит повысить эффективность самих экспериментов, а также расширить базу знаний о влиянии космических факторов на человека.

Работа выполнена в рамках Программы Фундаментальных научных исследований РАН FMFR-2024-0034.

ISSUES OF PSYCHOLOGICAL SELECTION AND TRAINING OF PARTICIPANTS OF MODEL GROUND-BASED ISOLATION EXPERIMENTS SIRIUS-21 AND SIRIUS-23

Supolkina N.S., Polyanichenko A.A., Ryumin O.O.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Natalyasupolkina@yandex.ru

The first practical issue facing space psychology was the selection of the first cosmonauts and their subsequent preparation for flights. The requirements to the selection procedure were determined by the conditions of space flight (SF): the cumulative effect of the main psychological stressors, as well as the tasks of a particular mission. The problem of correct selection that creates the foundation for building a highly professional cosmonaut squad does not lose its relevance even nowadays, although over time the procedure of cosmonaut selection and training

has been modified together with the development of manned cosmonautics because of complication of the flight program, increase of the mission duration and accumulation of knowledge about different aspects of space flight.

Currently, modeling various aspects of a space mission isolation experiments are actively used not only for selection and preparation of cosmonauts for flight (e.g., investigation of neuropsychic stability of a candidate in a surdocamera), but also for research purposes. That can help to form a pool of knowledge about the influence of the main stress factors of a long space flight on the human mind both during the stay on board a spacecraft and during the performance of individual complex operator tasks. For these purposes, a unique ground-based experimental complex was created at the Institute of Medical and Biological Problems (IMBP), which allows modeling such factors of SF as sensory and social isolation, monotony, autonomy of small group functioning, etc. Under these conditions, the original international experiments (MARS-105, MARS-500, Luna-2015, series of experiments SIRIUS) were successfully conducted, and they obtained results that are important for the support of modern orbital manned expeditions, as well as for the planning of human flights beyond low orbits.

The scientific sources widely cover the data of psychological studies obtained during these experiments. The issues of psychological support for the crews of experimental missions are less discussed, and aspects of their psychological selection and training are quite fragmentary.

Let us consider the specifics of selection and training procedures for participants of isolation missions on the material of two long-term experiments SIRIUS-21 (8 months) and SIRIUS-23 (12 months), and the main simulated extreme conditions, the duration of which in general corresponds to modern space missions.

If the duration and complexity of the procedure of selection and training of cosmonauts is determined by high requirements to the candidates (ability to maintain high working capacity under the continuous action of KP factors, ability to learn, etc.), the specifics of psychological selection of participants of the model isolation experiment and their further training are determined by different requirements to the candidates than to the cosmonauts. In particular, unlike cosmonauts, the participants of the experimental mission work during the whole time of isolation without a constant threat to their life and health. At the same time, the value and meaning aspect is of great importance for the formation of the selection procedure. Thus, the choice of a person entering the cosmonaut squad is a choice of life path, that is, a certain milestone in the professional career. Participation in the experiment can be considered as a variant of obtaining a unique professional and personal experience, which may not affect the deep motives in the meaning hierarchy of the participant of the experiment. At the same time, the psychological requirements for the participants of the experimental mission remain relevant: higher education, ability to interact effectively in a team, a certain level of stress resistance (ability to tolerate monotony, to stay for a long time in a sensory and socially impoverished environment, being in the focus of observation of a large number of specialists of the external circuit, etc.).

The peculiarities of the selection and training procedure in the model isolation experiments at the IMBP are set by the strict external organizational framework: limited sample of candidates, small time for the selection procedure and preparation for the experimental mission (usually 1-2 months before the experiment).

The scheme of selection for the SIRIUS-21 and SIRIUS-23 experiments included a set of psychological diagnostic techniques and an individual interview. Training scheme: psychological training (12 hours), survival training in forest conditions of the middle zone of the Russian Federation.

Two semantic blocks of the text were used in psychological diagnostics:

1. Personal characteristics: the SMOL (J. Kincannon, 1968) questionnaire.

2. Interpersonal relations: the test of communicative tolerance V.V. Boyko, behavior description test by K. Thomas, assessment of the level of sociability by V.F. Ryakhovsky and the technique of diagnosing the level of aggressiveness (A. Assinger).

The data on personality structure and peculiarities of interpersonal communication allowed psychologists to carry out a more stable and comfortable process of psychological support for the participants of the experiment.

Individual interview supplemented and expanded the data obtained with the help of diagnostic techniques. At the same time, the interview allowed specialists to identify the presence of psychological deviations that can manifest themselves in isolation, as well as to assess the level of stress resistance.

The goal of the psychological training conducted was team building, which included the development of effective communication skills and self-reflection. Survival training includes a 24-hour brief mastering of basic survival techniques in conditions of simulated emergency landing with a minimum set of tools and emergency supplies. The psychological goal of this event is to build the participants' confidence in their ability to cope with complex emergency situations that are simulated during the main experiment.

The weaknesses of the procedure of psychological selection and training include the lack of time to conduct them. For example, during the training, the group successfully experienced only the first stage of group dynamics (acquaintance), while the second stage (the stage of "conflict") was experienced by the group spontaneously (possibly ineffectively), outside the training space, already during the experiment.

Thus, in general, the psychological selection and training procedures can be assessed as successful; none of the SIRIUS-21 and SIRIUS-23 experiments ended prematurely. Isolation experiments represent a unique research tool that requires further development of the methodology of selection and training of participants, which will increase the efficiency of the experiments themselves, as well as expand the knowledge base on the influence of space factors on humans.

The work was performed within the framework of the Program of Fundamental Scientific Research of the Russian Academy of Sciences FMFR-2024-0034.

ОЦЕНКА ЦЕРЕБРАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЭКИПАЖЕЙ В ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ С НЕПОЛНОЙ АВТОНОМНОСТЬЮ (ПРОЕКТ SIRIUS)

Счастливцева Д.В., Котровская Т.И., Бубеев Ю.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

scdarya@yandex.ru

Поиск статистически значимых изменений в работе головного мозга человека при длительном воздействии негативных факторов в моделируемых условиях эксперимента имеет большую научно-практическую ценность. Условия среды, не соответствующие адекватному (нормальному, естественному) существованию человека, вызывают напряжение систем адаптации и, в свою очередь, максимальную централизацию управления функциями организма, которая обеспечивается высшим отделом центральной нервной системы (ЦНС) – корой больших полушарий и ближайших подкорковых образований головного мозга человека. Самым доступным способом оценки взаимодействия коры больших полушарий и подкорковых структур непосредственно во время осуществления операторской деятельности человеком в экспериментальных условиях, в частности во время изоляции, является электроэнцефалограмма (ЭЭГ). При анализе работы мозга оценке подвергаются ЭЭГ паттерны (распределение ЭЭГ компонентов по конвекситальной поверхности коры головного мозга), которые определяют индивидуально-типологические нейрофизиологические особенности человека. При сбалансированном корково-подкорковым взаимодействии наблюдается организованный во времени и пространстве паттерн; при ослаблении активирующих влияний на кору со стороны подкорковых структур - гиперсинхронный, а при усилении активирующих влияний – десинхронный. При дезорганизованном паттерне выявлено неустойчивое взаимодействие корково-подкорковых образований.

Методика. Исследование проводили в рамках международного проекта SIRIUS, состоящего из 4 изоляционных экспериментов различной длительности: 17, 120, 240 и 365 суток, которые моделировали полет и высадку на Луну в условиях неполной автономности в наземном экспериментальном комплексе (НЭК) ГНЦ РФ – ИМБП РАН, с соблюдением и поддержанием газового состава среды, температуры и влажности. В проекте принимали участие мультинациональные экипажи с разнородным гендерным составом. Автономизация экипажа моделировалась следующими факторами: 5-минутная задержка связи, монотонность деятельности, однообразие обстановки и исключение возможности любого внешнего общения, кроме контактов с центром управления.

В 17-суточном эксперименте участвовали 6 практически здоровых добровольцев (3 – женского и 3 – мужского пола) в возрасте от 27 до 43 лет (34,33 ± 2,2); в 120 суточном - 6 добровольцев (3 – женского и 3 – мужского пола) в возрасте от 28 до 44 лет (33,66 ± 2,6), в 240 суточном – 5 добровольцев (2 – женского и 3 – мужского пола) в возрасте от 29 до 43 лет (34 ± 2,4), в 365 суточном – 6 добровольцев (4 – женского и 2 – мужского пола) в возрасте от 26 до 37 лет (31 ± 1,7) который до начала каждого из части проекта проходили отбор и медицинское освидетельствование.

ЭЭГ регистрировали с помощью компьютеризированного комплекса Нейролаб-2010+–Прибор (ИМБП, Россия), от 19 стандартных отведений относительно одного референтного электрода. Запись осуществляли за неделю до начала исследования (фон), раз в неделю начиная с 3-х суток во время изоляции и 1 раз на седьмые сутки после окончания изоляции. Во время записи ЭЭГ обследуемый располагался на стуле в максимально комфортной позе с закрытыми глазами, что позволяло регистрировать показатели в состоянии спокойного бодрствования.

Определяли индивидуально-типологический ЭЭГ-паттерн у каждого добровольца согласно классификации Жирмунской, а также рассчитывали относительные значения мощности (ОЗМ) ЭЭГ-спектра в дельта-2 – (2–4 Гц), тета- (4–8 Гц), альфа- (8–13 Гц) и бета-1 – (13–24 Гц) диапазонах суммарно для всех отведений.

Вторичную обработку данных проводили с помощью программы STATISTICA 10.

Результаты и обсуждение. В 17-суточном эксперименте решалась задача по выявлению изменений в работе мозга вследствие действия изоляции. В ходе анализа исследуемых ЭЭГ параметров статистически значимых изменений по окончании изоляции по сравнению с фоновыми измерениями не выявлено, что, вероятно, связано с краткосрочностью изоляции.

В условиях четырехмесячной изоляции наблюдалась реципроктная динамика относительного значения мощности (ОЗМ) тета- и бета-диапазонов ЭЭГ, причем в первой половине исследования, отмечались статистически достоверные сдвиги ОЗМ тета- и бета-диапазонов в ряду сравнений каждого последующего измерения с предыдущим. Во второй половине изоляции таких сдвигов не отмечалось. Эти данные свидетельствуют о стабильном уровня функционального состояния, что является признаком фазы устойчивой адаптации испытуемых к экспериментальным условиям.

В 8-месячной изоляции большинство статистически значимых сдвигов отмечалось в тета-диапазоне, при этом снижение вариативности ОЗМ тета-диапазона ЭЭГ наблюдалась со второго по шестой месяц изоляции. Поскольку в ОЗМ дельта-, альфа, бета-диапазонов количество достоверных изменений относительно фона было минимальным, можно говорить об устойчивой адаптации членов экипажа в период со второго по шестой месяц изоляции.

В годовом эксперименте большинство статистически значимых изменений относительно фона также наблюдалось в тета-диапазоне ЭЭГ, при этом снижение вариативности ОЗМ тета-диапазона отмечали в период, продолжавшийся от двух месяцев до шести с половиной месяцев изоляции, а также с восьми с половиной месяцев до конца изоляции.

Таким образом, несмотря на различия индивидуально-типологических особенностей ЭЭГ-паттерна членов экипажей, национального и гендерного состава экипажей, степени загруженности в течение суток и длительности изоляций, основным маркером изменения церебральной активности является ОЗМ тета-диапазона ЭЭГ.

Установлено множество поведенческих коррелятов тета-активности, которые связаны со сложной когнитивной и эмоциональной нагрузкой, направленным вниманием, утомлением и др. Соответствия каждого измерения тета-активности поведенческим проявлениям рассматривались комплексно, с учетом ритмической организации ЭЭГ в других диапазонах.

Работа выполнена в рамках Программы Фундаментальных научных исследований РАН FMFR-2024-0034.

ASSESSMENT OF CEREBRAL ACTIVITY OF CREWS IN ISOLATION EXPERIMENTS WITH INCOMPLETE AUTONOMY (PROJECT SIRIUS)

Schastlivtseva D.V., Kotrovskaya T.I., Bubeev Yu.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

scdarya@yandex.ru

The search for statistically significant changes in the functioning of the human brain under the long-term influence of negative factors in simulated experimental conditions is of great scientific and practical value. Environmental conditions that do not correspond to adequate (normal, natural) human existence cause tension in the adaptation systems and, in turn, maximum centralization of control of the body's functions, which is ensured by the highest part of the central nervous system (CNS) - the cerebral cortex and the nearest subcortical formations of the human brain. The most accessible way to assess the interaction of the cerebral cortex and subcortical structures directly during the implementation of operator activity by a person under experimental conditions, in particular during isolation, is an electroencephalogram (EEG). When analyzing brain function, EEG patterns (distribution of EEG components over the convexital surface of the cerebral cortex) are assessed, which determine the individual-typological neurophysiological characteristics of a person. With a balanced cortical-subcortical interaction, a pattern organized in time and space is observed; with a weakening of activating influences on the cortex from subcortical structures - hypersynchronous, and with a strengthening of activating influences - desynchronous. In the case of a disorganized pattern, unstable interaction of cortical-subcortical formations was revealed.

Methodology. The study was conducted within the framework of the international project «SIRIUS», consisting of 4 isolation experiments of various durations: 17, 120, 240 and 365 days, which simulated a flight and landing on the Moon in conditions of partial autonomy in the ground experimental complex (NEK) of the IBMP, with the observance and maintenance of the gas composition of the environment, temperature and humidity. Multinational

crews with a heterogeneous gender composite participated part in the project. Crew autonomy was simulated by the following factors: a 5-minute communication delay, monotony of activity, monotony of the environment and the exclusion of the possibility of any external communication, except for contacts with the control center.

6 practically healthy volunteers (3 female and 3 male) aged 27 to 43 years (34.33 ± 2.2) took part in the 17-day experiment; in the 120-day experiment – 6 volunteers (3 female and 3 male) aged 28 to 44 years (33.66 ± 2.6), in the 240-day experiment – 5 volunteers (2 female and 3 male) aged 29 to 43 years (34 ± 2.4), in the 365-day experiment – 6 volunteers (4 female and 2 male) aged 26 to 37 years (31 ± 1.7) who underwent selection and medical examination before the start of each part of the project. EEG was recorded using the Neurolab-2010+–Pribor computerized complex (IBMP, Russia), from 19 standard leads relative to one reference electrode. Recording was performed a week before the start of the study (background), once a week starting from the 3rd day during isolation and 1 time on the seventh day after the end of isolation. During the EEG recording, the subject was positioned on a chair in the most comfortable position with his eyes closed, which allowed recording the parameters in a state of calm wakefulness.

The individual typological EEG pattern was determined for each volunteer according to Zhirmunskaya's classification, and the relative power values (RPV) of the EEG spectrum were calculated in the delta-2 (2–4 Hz), theta (4–8 Hz), alpha (8–13 Hz) and beta-1 (13–24 Hz) ranges for all leads in total.

Secondary data processing was performed using the STATISTICA 10 program.

Results and discussion. The 17-day experiment was designed to identify changes in brain function due to isolation. During the analysis of the studied EEG parameters, no statistically significant changes were found after the end of isolation compared to background measurements, which is probably due to the short-term nature of the isolation.

Under the conditions of four-month isolation, reciprocal dynamics of the relative power value (RPV) of the theta and beta EEG ranges were observed, and in the first half of the study, statistically significant shifts in the RPV of the theta and beta ranges were noted in a series of comparisons of each subsequent measurement with the previous one. In the second half of the isolation, such shifts were not noted. These data indicate a stable level of the functional state, which is a sign of the phase of stable adaptation of the subjects to the experimental conditions.

In the eight-month isolation, most statistically significant shifts were observed in the theta range, with a decrease in the variability of the theta range of the EEG RPV observed from the second to the sixth month of isolation. Since the number of reliable changes in the delta, alpha, and beta ranges relative to the background was minimal, we can talk about stable adaptation of the crew members in the period from the second to the sixth month of isolation.

In the one-year experiment, most statistically significant changes relative to the background were also observed in the theta range of the EEG, with a decrease in the variability of the theta range RPV observed in the period lasting from two months to six and a half months of isolation, as well as from eight and a half months to the end of isolation.

Thus, despite the differences in the individual typological features of the EEG pattern of crew members, the national and gender composition of the crews, the degree of workload during the day and the duration of isolation, the main marker of changes in cerebral activity is the RPV of the theta range of the EEG.

Many behavioral correlates of theta activity have been established, which are associated with complex cognitive and emotional load, focused attention, fatigue, etc. The correspondence of each measurement of theta activity to behavioral manifestations was considered in a comprehensive manner, taking into account the rhythmic organization of the EEG in other ranges.

The work was carried out within the framework of the Fundamental Scientific Research Program of the Russian Academy of Sciences FMFR-2024-0034.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА В КОСМОСЕ

Филин К.Н.[1], Гладких В.Д.[1], Баландин Н.В.[1], Поляков А.В.[2]

[1]НПЦ «Фармзащита» ФМБА России, Химки, Россия
[2]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

sereda@atompharm.ru

В последние десятилетия активно проводятся исследования, связанные с оценкой влияния космической радиации на стабильность лекарственных средств, входящих в состав бортовых космических медицинских аптечек и укладок. В одной из последних обзорных научных публикаций NASA (*Risk of Ineffective or Toxic Medication During Long-Duration Exploration Spaseflight, 2024*) сообщается, что в условиях международной космической станции (МКС) при экспозиции космической радиацией до 880 суток протестировано более 30 лекарственных препаратов из разных фармакологических групп, предназначенных для оказания медицинской помощи астронавтам как в процессе их деятельности на околоземной орбите, так и в условиях пилотируемых полетов в дальний космос.

Необходимость проведения таких исследований обусловлена тем, что, в отличие от наземных условий, хранящиеся на борту пилотируемых космических кораблей лекарственные средства в условиях полета, помимо действия частиц радиационных поясов Земли (протоны, электроны), подвергаются постоянному воздействию галактических космических лучей (протоны больших энергий, ионизированные высокозаряженные частицы, имеющие относительно низкую плотность потока, но чрезвычайно высокую проникающую способность). В результате эпизодических солнечных протонных событий (солнечных бурь и солнечных вспышек) действуют протоны и заряженные частицы средних энергий. Действие этих факторов может приводить к более быстрой, чем в наземных условиях, деградации действующих и/или вспомогательных веществ в составе лекарственной формы препаратов (радиационная деградация), появлению продуктов деструкции, более токсичных или проявляющих не свойственные действующим веществам виды токсичности (аномальная токсичность). Подобные изменения могут повлечь за собой сокращение сроков годности и снижение эффективности лекарственных средств. Считается, что выраженность проявлений радиационной деградации лекарственных средств зависит от вида и дозы облучения, химической структуры действующих и вспомогательных веществ, а также от вида лекарственных форм (таблетка, капсула, раствор для инъекций и др.) и их упаковки. Однако экспериментальных данных по данному направлению исследований недостаточно, чтобы делать обобщающие заключения.

В нашей стране исследования подобной направленности проводятся НПЦ «Фармзащита» ФМБА России и ГНЦ РФ – Институтом медико-биологических проблем Российской академии наук. Начиная с 2022 года на Российском сегменте МКС организовано проведение исследований по оценке влияния реальных факторов орбитальных пилотируемых полетов на стабильность ряда лекарственных средств разных фармакологических классов (*Атропин*, раствор для инъекций, 1 мг/мл; *Кеторолак*, раствор для внутримышечного введения, 30 мг/мл, 2 мл; *Фуросемид*, раствор для внутривенного и внутримышечного введения, 10 мг/мл, 2 мл; *Этамзилат*, раствор для инъекций, 125 мг/мл, 2 мл) в форме шприцов предварительного наполнения по технологии, разработанной ФГУП НПЦ «Фармзащита» ФМБА России в период 2015-2016 гг. в рамках реализации государственной программы Российской Федерации «Развитие здравоохранения» по заказу Федерального медико-биологического агентства с целью обновления бортовых медицинских укладок российского сегмента МКС.

После 2-летнего нахождения на МКС в период с 03.06.2022 г. по 25.03.2024 г., лекарственные формы перечисленных выше препаратов в апреле 2024 г. были возвращены для обработки результатов в наземных условиях.

Анализ лекарственных препаратов проводили по нормативной документации ЛП-004414-150817. Оценивали внешний вид первичной упаковки и самого раствора в шприце, подтверждали подлинность действующего вещества физико-химическими методами в сравнении со стандартным образцом. Количественное определение содержания действующего вещества в препарате проводили спектрофотометрическим методом. Вероятное появление родственных примесей в растворе оценивали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, сравнивая хроматографические профили образцов препарата сразу после производства и после хранения на МКС. Использованные методы позволили в полной мере оценить качество лекарственных препаратов и возможные изменения его физико-химических свойств.

Результаты исследования показали, что лекарственные препараты *Кеторолак, 30 мг/мл*, *Фуросемид, 10 мг/мл*, *2 мл* и *Этамзилат, 125 мг/мл* в форме предварительно наполненных шприцов с колпачками, в

течение двух лет находившиеся на борту российского сегмента МКС, соответствует требованиям нормативной документации ЛП-004497-191017 по проверенным показателям. Содержание основного вещества в препаратах изменилось на величину, значительно меньшую, чем критерий значительного изменения. Появления новых не идентифицированных посторонних примесей или деструкции действующего вещества не произошло (профиль примесей совпадает). Наблюдаемый незначительный рост содержания примесей, характерен для данных препаратов при хранении.

В случае *Атропина* (раствор для инъекций, 1 мг/мл) результаты исследования свидетельствуют, что этот лекарственный препарат не соответствует требованиям нормативной документации ЛП-004414-150817 по показателю «Родственные примеси». Отмечен значительный рост содержания примеси, характерной для данного препарата: в соответствии с нормативными документами (ЛП-004497-191017) единичные не идентифицированные примеси составляют 0,5 %, сумма примесей – не более 1,0 %. Результаты первичного анализа (от 25.03.2022 г) указывают на родственные примеси в количествах 0,16 и 0,27%, после хранения на МКС, соответственно – 0,68 и 0,73%.

Учитывая, что срок годности исследуемой серии препарата истек в феврале 2024 года (за два месяца до возвращения), значительное содержание примеси не обязательно является следствием пребывания образца лекарственного препарата на МКС.

Вывод. В результате проведенного исследования показано, что лекарственные препараты в форме преднаполненных шприцов, разработанные для обновления медицинских укладок в качестве средств медицинской помощи космонавтам, успешно прошли испытания на борту МКС.

ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF SPACE RADIATION ON THE STABILITY OF MEDICINES INTENDED FOR HUMAN MEDICAL PROTECTION IN SPACE

Filin K.N.[1], Gladkikh V.D.[1], Balandin N.V.[1], Polyakov A.V.[2]

[1]Research and production center «Pharmaceutical Protection» of Federal Medical Biological Agency, Khimki, Russia
[2]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

sereda@atompharm.ru

In recent decades, research has also been actively conducted to assess the impact of space radiation on the stability of medicines that are part of on-board space medical kits and packages. In one of the latest scientific publications of NASA (*Risk of Ineffective Ineffective or Toxic Toxic Medicine During Long-Duration Exploration Spaseflight, 2024*), it is reported that in the conditions of the international space station (ISS), when exposed to space radiation for up to 880 days, more than 30 medicines from different pharmacological groups intended for medical care were tested assistance to astronauts both in the process of their activities in low-Earth orbit, and in the conditions of manned flights to deep space.

The need to conduct such studies is due to the fact that, in contrast to ground conditions, medicines stored on board manned spacecraft in flight conditions, in addition to the action of particles of the Earth's radiation belts (protons, electrons), are constantly exposed to galactic cosmic rays (high-energy protons, ionized highly charged particles with a relatively low flux density, etc.). but extremely high penetration). As a result of episodic solar proton events (solar storms and solar flares), protons and charged particles of medium energy act. The effect of these factors can leadь to a faster degradation of active substances and/or excipients in the dosage form of drugs (radiation degradation), the appearance of degradation products that are more toxic or exhibit types of toxicity that are not characteristic of active substances (abnormal toxicity). Such changes may lead to shortere shelf life and reduced effectiveness of medicines. It is believed that the severity of radiation degradation of medicinal products depends on the type and dose of radiation, the chemical structure of active and auxiliary substances, as well as on the type of dosage forms (tablet, capsule, solution for injection, etc.) and their packaging. However, experimental data on this area of research are not sufficient to make generalizing conclusions.

In our country, studies of a similar nature are conducted FSUE RPC «Pharmaceutical Protection» FMBA of Russia and State Scientific Center of the Russian Federation-Institute of Medical and Biological Problems of the Russian Academy of Sciences. Starting in 2022, the Russian segment of the ISS will host an autonomous non-governmental organization to conduct research to assess the impact of real factors of manned orbital flights on the stability of a number of drugs of different pharmacological classes (*Atropine*, solution for injection, 1 mg/ml; *Ketorolac*, solution for intramuscular administration, 30 mg/ml, 2 ml; *Furosemide*, solution for intravenous administration). and intramuscular administration, 10 mg/ml, 2 ml; *Etamzylate*, solution for injection, 125 mg/ml, 2 ml) in the form of pre-filled syringes according to the technology developed by FSUE RPC «Pharmaceutical Protection» FMBA of

Russia in the period 2015-2016г. in the framework of the state program of the Russian Federation «Development of healthcare» by order of Federal Medical and Biological Agency for the purpose of updating on-board medical packages of the Russian segment of the ISS.

After a 2-year stay on the ISS in the period from03.06.2022 to 25.03.2024, the dosage forms of the above drugs were returned in April 2024 for processing the results in ground conditions.

The analysis of medicinal products was carried out according to the regulatory documentation LP-004414-150817. The appearance of the primary package and the solution itself in the syringe were evaluated, and the authenticity of the active substance was confirmed by physical and chemical methods in comparison with the standard sample. Quantitative determination of the active substance content in the preparation was carried out by the spectrophotometric method. The likely appearance of related impurities in the solution was evaluated by high-performance liquid chromatography, comparing the chromatographic profiles of drug samples immediately after production and after storage on the ISS. The methods used made it possible to fully assess the quality of medicines and possible changes in their physicochemical properties.

The results of the study showed that the medicinal products *Ketorolac, 30 mg / ml, Furosemide, 10 mg / ml, 2 ml* and *Ethamzylate, 125 mg / ml* in the form of pre-filled syringes with caps, for two years, they were on board the Russian segment of the ISS, meet the requirements of the regulatory documentation LP-004497-191017 for the Russian Space Station. verified indicators. The content of the main substance in the preparations changed by an amount significantly lower than the criterion for significant change. The appearance of new unidentified foreign impurities or the destruction of the active substance did not occur (the impurity profile coincides). The observed slight increase in the content of impurities is typical for these preparations during storage.

In the case of *Atropinea* (solution for injection, 1 mg/ml) p, the results of the study indicate that this drug does not meet the requirements of the regulatory documentation LP-004414-150817 for the indicator «Related impurities». A significant increase in the impurity content characteristic of this drug was noted: in accordance with regulatory documents (LP-004497-191017), single unidentified impurities amount to 0.5 %, the amount of impurities is not more than 1.0%. The results of the initial analysis (dated 25.03.2022) indicate related impurities in the amounts of 0.16 and 0.27 %, after storage on the ISS, respectively-0.68 and 0.73 %.

Given that the shelf life of the test batch of the drug expired in February 2024 (two months before the return), a significant impurity content is not necessarily a consequence of the presence of the drug sample on the ISS.

Conclusion. As a result of the study, it was shown that medicines in the form of pre-filled syringes, developed for updating medical packages as medical care products for astronauts, were successfully tested on board the ISS.

ОПЫТ ОРБИТАЛЬНЫХ ПОЛЕТОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ОСВОЕНИЮ ЛУНЫ

Фомина Е.В., Лучицкая Е.С., Васильева Г.Ю., Новиков В.Е., Алферова И.В., Сенаторова Н.А., Буракова А.А., Романов П.В., Кокуева М.А., Бахтерева В.Д., Ганичева А.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

fomin-fomin@yandex.ru

Человечество планирует возвращение на Луну, и теперь это будут уже не кратковременные вылазки, а этап освоения с созданием лунных поселений, разворачиванием научных лабораторий и производств. Повторяются этапы освоения новых территорий характерные для эпохи великих географических открытий. Задача освоения Луны ставит перед гравитационной физиологией новые вопросы.

Какие изменения функций гравитационно-зависимых физиологических систем в кратковременной космической миссии, могут лимитировать успешность выполнения внекорабельной деятельности на поверхности?

Как быстро будет проходить адаптация к условиям Луны, какую длительность работ на поверхности можно планировать и в какие сроки?

Можно ли профилактировать негативные перестройки функций физиологических систем и какими методами?

Опыт модельных экспериментов с «сухой» иммерсией свидетельствует о достаточно быстром разворачивании перестроек в гравитационно-зависимых системах и значительных изменениях работоспособности после периодов безопорности. К сожалению, систематических экспериментальных исследований в кратковременных полетах на РС МКС не проводилось, однако даже единичные исследования вносят свой вклад в копилку знаний, необходимых для подготовки к освоению Луны.

Нами выполнены исследования в трех кратковременных полетах мужчин и женщин, совершенных на РС МКС. Длительность всех полетов составила не более 14 суток, в этой связи штатных методов профилактики негативных влияний невесомости не было предусмотрено. Экспериментально в одном из полетов выполнялся бег на дорожке в ознакомительном режиме в соответствии самочувствием космонавта. В одном из полетов осуществлялось воздействие приложением отрицательного давления к нижней половине тела.

Все задачи, моделирующие внекорабельную деятельность на поверхности Луны, в ранние сроки реадаптации к условиям Земли после кратковременных полетов были выполнены успешно. Стратегия вертикализации тела из положения лежа была изменена только в первые сутки после возвращения, а на вторые и третьи сутки отмечено возвращение предполетной стратегии. Переносимость ортопробы на вторые сутки после полета снижена, признаки ортостатической неустойчивости проявлялись в большем приросте ЧСС по сравнению с предполетным периодом и включении высших вегетативных центров в процессы регуляции. Функциональный ответ сердечно-сосудистой и дыхательной систем на выполнение физической нагрузки после полета был повышен. Бег на дорожке на пятые и двенадцатые сутки реадаптации сопровождался большим повышением легочной вентиляции и ЧСС, чем до полета.

Большинство анализируемых в крови и моче показателей находилось в пределах референтных значений, однако изменение показателей резорбции и ремоделирования костной ткани оказались сонаправлены с перестройками, характерными для периода после длительных космических полетов. Данные денситометрии указывают на незначительные снижения минеральной плотности в поясничных позвонках L1–L4.

Таким образом, быстрая динамика восстановления гравитационно-зависимых функций позволяет предположить возможность выполнения работ, требующих достаточно высокого уровня работоспособности начиная с пятых суток. Однако необходимо учитывать, что физиологическая стоимость работ на поверхности Луны, вероятно, будет повышена. Необходимо продолжение исследований, направленных на определение оптимального набора средств и методов профилактики негативных влияний невесомости для кратковременных полетов. Такие исследования позволят расширить представления о протекании процессов адаптации организма человека к условиям невесомости и внесут свой вклад в разработку системы медицинского обеспечения лунных миссий.

Исследование поддержано ГК «Роскосмос» и базовым финансированием РАН (тема FMFR-2024-0037).

EXPERIENCE OF ORBITAL FLIGHTS TO PREPARE FOR THE EXPLORATION OF THE MOON

Fomina E.V., Luchitskaya E.S., Vasilieva G.Yu., Novikov V.E., Alferova I.V., Senatorova N.A., Burakova A.A, Romanov P.V., Kokueva M.A., Bakhtereva V.D., Ganicheva A.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

fomin-fomin@yandex.ru

Humanity is planning to return to the Moon, and now it will no longer be short-term forays, but a stage of development with the creation of lunar settlements, the deployment of scientific laboratories and industries. The stages of the development of new territories, characteristic of the era of great geographical discoveries, are repeated. The task of exploring the Moon poses new questions for gravitational physiology. What changes in the functions of gravitational-dependent physiological systems in a short-term space mission can limit the success of extravehicular activities on the surface? How quickly will adaptation to the conditions of the Moon take place, how long can work on the surface be planned and in what timeframe? Is it possible to prevent negative restructuring of the functions of physiological systems and by what methods?

The experience of model experiments with «dry» immersion indicates a fairly rapid unfolding of rearrangements in gravitationally dependent systems and significant changes in performance after periods of unsupported. Unfortunately, no systematic experimental studies have been carried out in short-term flights on the ISS RS, but even single studies contribute to the treasury of knowledge necessary to prepare for the exploration of the Moon. We have performed studies in three short-term flights of men and women performed on the ISS RS. The duration of all flights was no more than 14 days, in this regard, there were no standard methods for preventing the negative effects of weightlessness. Experimentally, in one of the flights, running on a treadmill was performed in an introductory mode in accordance with the cosmonaut's well-being. In one of the flights, the effect was carried out by applying negative pressure to the lower half of the body.

All tasks simulating extravehicular activity on the surface of the Moon in the early stages of readaptation to Earth conditions after short-term flights were completed successfully. The strategy of verticalisation of the body

from the prone position was changed only on the first day after return, and on the second and third days the return of the pre-flight strategy was noted. The tolerance of the orthotest on the second day after the flight was reduced, signs of orthostatic instability were manifested in a greater increase in heart rate compared to the pre-flight period and the inclusion of higher vegetative centres in the regulatory processes. The functional response of the cardiovascular and respiratory systems to physical activity after the flight was increased. Running on the treadmill on the fifth and twelfth days of readaptation was accompanied by a greater increase in pulmonary ventilation and heart rate than before the flight.

Most of the parameters analysed in blood and urine were within the reference values, but changes in the indicators of bone resorption and remodelling turned out to be consistent with the rearrangements characteristic of the period after long-term space flights. Densitometry data indicate a slight decrease in mineral density in the lumbar vertebrae L1–L4. Thus, the rapid dynamics of the restoration of gravity-dependent functions allows us to assume the possibility of performing work requiring a sufficiently high level of performance starting from the fifth day. However, it must be borne in mind that the physiological cost of working on the surface of the Moon is likely to be increased. It is necessary to continue research aimed at determining the optimal set of means and methods for preventing the negative effects of weightlessness for short-term flights. Such research will expand the understanding of the processes of adaptation of the human body to the conditions of weightlessness and will contribute to the development of a system of medical support for lunar missions.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Чередников Р.Ф., Матюшев Т.В., Шеина М.А., Жеребцова К.С., Мохаммад С.К.

Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия

rodion-cherednikov@mail.ru

Эксплуатация авиационной техники в условиях жаркого климата, создает значительные физиологические нагрузки на летный состав, обусловленные воздействием микроклиматических факторов. Анализ негативного влияния таких микроклиматических факторов как высокие температуры, влажность и других выявил острую необходимость в разработке и внедрении системы непрерывного мониторинга теплового состояния пилота непосредственно во время полета основанную на математической модели физиологической терморегуляции.

Нарушение терморегуляции может привести к снижению когнитивных функций и физической выносливости, что в экстремальных ситуациях может иметь фатальные последствия. В связи с этим, актуальным является прогноз теплового состояния организма использованием математических моделей физиологической регуляции и оценка теплового комфорта непосредственно во время полета. Однако, существующие модели физиологической терморегуляции недостаточно полно описываю влияние теплофизических параметров окружающей среды на организм. Таким образом, разработка тепловой модели, учитывающей влияние теплофизических параметров микроклимата в кабине, представляется актуальной задачей, имеющей высокую практическую значимость в авиационно-космической медицине.

Таким образом целью работы было обоснование и разработка математической модели физиологической терморегуляции для применения алгоритмического обеспечения автоматизированного комплекса анализа показателей терморегуляции летчиков в полете.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Обосновано формализованное описание активных механизмов терморегуляции организма с учетом физиологических закономерностей потоотделения и вазодилатации.
2. Разработан и программно реализован алгоритм расчета теплообмена организма человека в условиях повышенных температур с применением активного пакета теплозащиты в среде программирования MatLab.
3. Проведен вычислительный эксперимент имитирующий теплообмен летчиков при температуре +35°C.

Модель физиологической терморегуляции состоит из моделей пассивных механизмов и активных механизмов регуляции.

Пассивная теплофизическая модель теплообмена описывает процессы теплообразования, теплопередачи внутри тела и теплоотдачи в окружающую среду. Она состоит из двух узлов: головы и туловища с конечностями, которые в свою очередь разделяются на два сегмента каждый: мозг и оболочка головы,

внутренние органы и оболочка туловища. Кровообращение представлено отдельным сегментом. Голова представлена как сфера, туловище в виде цилиндра. Одежда рассматривается как отдельный сегмент.

При разработке пассивной системы за базовую модель была принята модель Столвика, построенная на основных физиологических закономерностях теплообменных процессов, в соответствии с которыми общие температурные ощущения человека определяются его тепловым балансом. Основными тепловыми потоками теплоотдачи с тела человека являются конвективный, радиационный потоки и испарительные респираторные потери. Физические коэффициенты массо- и теплопереноса определялись из критериальных уравнений теории подобия.

Теплоотдача от тела к одежде происходит за счет кондукции. Внутренняя терморегуляция осуществляется за счет тепловых потоков, переносимых кровью. Таким образом, пассивная система представлена системой шести обыкновенных дифференциальных уравнений. Где первые два описывают компартменты головы, третий-четвертый – туловища, а последнее уравнение отражает центральный кровоток.

Модель активных механизмов представлена системой алгебраических уравнений, описывающей реакции вазодилатации и активного потоотделения.

Моделирование объемной скорости кровообращения основано на концепции установочной точки, где ключевыми управляющими сигналами выступают центральная температура тела и средневзвешенная температура кожи (СВТК). Согласно этой концепции, объемная скорость кровообращения изменяется в зависимости от отклонения температуры от заданного значения. В результате статистической обработки был определен вид уравнения в виде квадратичной зависимости. В отличие от классической концепции учета влияния СВТК на скорость кровотока, данное уравнение определяет величину объемного кровотока по температуре участков тела.

Реакция потоотделения строилась на основе концепции без установочной точки. В критериальные уравнения для расчета диффузионных чисел Нуссельта были введены коэффициенты. В результате статистической обработки был определен вид зависимости этих коэффициенты от температуры опять в виде квадратичной зависимости.

Тепловой расчет снаряжения состоит в совместном решении уравнений теплового баланса для человеческого организма и костюма. При выборе основных параметров системы вентиляции – расхода и температуры воздуха на входе в костюм – составляется тепловой баланс системы для расчетных случаев. Данные условия отражены в виде уравнений, которые показывают температуры нательного белья, воздушной прослойки и термозащитного снаряжения. Температура вентиляционного воздуха на выходе из снаряжения в общем случае находится между температурой кожи и внешней температурой пакета теплозащитного снаряжения.

Для проверки работоспособности модели был проведен вычислительный эксперимент, имитирующий теплообмен человека при температуре +35 °С. Полученные результаты качественно отражают влияние повышенных температур на компенсаторные реакции человека: при повышении температуры воздуха внутри защитного костюма с +25 °С до +35 °С скорость кровотока снизилась на 15 %, а интенсивность потоотделения – на 20 %.

Таким образом, в результате проведенных исследований был определен вид математических зависимостей активного потоотделения и реакции вазодилатации отличающихся от классической концепции J. Stolweik. Разработанная и программно реализованная модель теплообмена человека в защитном снаряжении позволяет оценить влияние повышенных температур на организм. Алгоритм расчета может использоваться в качестве универсального математического инструмента при решении широкого круга практических задач, связанных с созданием теплозащитного снаряжения и обеспечением комфортного теплового состояния пилота.

По результатам проведенной работы видно, что даже наличие теплозащитного снаряжения не гарантирует пилоту поддержание температурного гомеостаза. Вместе с этим в настоящий момент в авиакосмической медицине присутствует проблема использования точной имитационной модели терморегуляции человека. Необходимость продолжения разработок и исследований в данном направлении объясняется тем, что существует множество факторов, влияющих на тепловое состояние пилота. Этот факт необходимо учитывать при проектировании современных теплозащитных костюмов и создании санитарно-гигиенических норм для обеспечения безопасности жизни пилота во время полета.

HUMAN HEAT TRANSFER MODELING UNDER ELEVATED TEMPERATURE CONDITIONS

Cherednikov R.F., Matyushev T.V., Zherebtsova K.S., Sheina M.A., Mohhamad S.K.

Center Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

rodion-cherednikov@mail.ru

The operation of aircraft equipment in hot climate conditions imposes significant physiological loads on flight crews due to microclimatic factors. Analysis of negative impacts from such microclimatic factors as high temperatures, humidity, etc., revealed an urgent need for developing and implementing a continuous monitoring system for pilots' thermal state during flights based on mathematical models of physiological thermoregulation.

Disruption of thermoregulation may lead to decreased cognitive functions and physical endurance, which could have fatal consequences in extreme situations. Therefore, it is relevant to predict the body's thermal condition using mathematical models of physiological regulation and assess thermal comfort directly during flight. However, existing models of physiological thermoregulation do not fully describe the influence of environmental thermophysical parameters on the organism. Thus, development of a thermal model taking into account the impact of thermophysical cabin microclimate parameters appears to be a topical task with high practical significance in aerospace medicine.

Therefore, the aim of this study was to substantiate and develop a mathematical model of physiological thermoregulation for use in algorithmic support of automated systems analyzing pilots' thermoregulation indicators during flight. To achieve this goal, the following tasks were addressed:

1. A formalized description of active mechanisms of body thermoregulation considering physiological patterns of perspiration and vasodilation was justified.
2. An algorithm for calculating human heat exchange at elevated temperatures while applying an active thermal protection package was developed and implemented in MATLAB programming environment.
3. A computational experiment simulating pilot's heat transfer at +35 °C temperature was conducted.

The model of physiological thermoregulation consists of passive mechanism models and active regulatory mechanism models.

A passive biophysical heat transfer model describes processes of heat production, internal body heat conduction, and heat dissipation into the surrounding environment. It includes two nodes: head and trunk with limbs, each divided into two segments—brain and scalp for the head, visceral organs and shell for the torso. Circulation is represented separately. Head is modeled as a sphere, trunk as a cylinder. Clothing is considered as a separate segment.

In designing the passive system, Stolwijk's model was adopted as the baseline, constructed according to basic physiological laws governing heat transfer processes where overall thermal sensations are determined by thermal balance. Key modes of heat loss include convective, radiative flows, and evaporative respiratory losses. Physical mass and heat transfer coefficients were derived from similarity theory equations.

Heat transfer between the body and clothing occurs through conduction. Internal thermoregulation takes place via blood-borne heat fluxes. Consequently, the passive system is described by a set of six ordinary differential equations, where the first two equations pertain to head compartments, third-fourth equations to trunk compartments, and the last equation reflects central circulation.

Active mechanism models consist of algebraic equations describing vasodilatory reactions and active perspiration.

Volume rate of blood circulation simulation relies on the concept of a set point, where key control signals are core body temperature and mean weighted skin temperature (MWST). According to this concept, volume rate of blood circulation changes depending on deviation from preset values. Statistical analysis yielded a quadratic dependency equation form. Unlike classical MWST-based concepts, this equation determines volumetric blood flow rates by individual body part temperatures.

Perspiration reaction is structured without a set-point concept. Coefficients introduced into critical Nu-number equations were statistically processed resulting again in a quadratic dependence form.

Thermal calculation of protective gear involves solving combined heat balance equations for both the human body and suit. When selecting ventilation system main parameters like airflow rate and input air temperature, a thermal balance equation is formulated for design cases reflecting undershirt, air gap, and thermal-protective suit temperatures. Ventilation air outlet temperature generally lies between skin temperature and external thermal-protection pack temperature.

To verify the functionality of the model, a computational experiment mimicking human heat transfer at +35 °C was performed. Results qualitatively reflect compensatory reactions caused by elevated temperatures: when

inside costume air temperature rises from +25 °C to +35 °C, blood flow velocity decreases by 15 %, and perspiration intensity drops by 20 %.

Thus, the research results established new forms of mathematical dependencies for active perspiration and vasodilation differing from J. Stolwijk's classic concept. The developed and software-implemented model of human heat exchange within protective gear allows assessing the effects of elevated temperatures on the body. This calculation algorithm can serve as a universal mathematical tool applicable to various practical problems related to creating thermal-protective suits and ensuring comfortable thermal conditions for pilots.

Based on the findings, even though wearing thermal-protective gear does not guarantee maintenance of pilots' thermal homeostasis, there remains a problem in aviation medicine regarding accurate simulation of human thermoregulation. Continued research and development efforts are necessary because numerous factors affect pilots' thermal states. These considerations must inform modern thermal-protective suit designs and establishment of sanitary-hygienic norms to ensure pilot safety during flight.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА В КАБИНЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Шеина М.А., Матюшев Т.В., Чередников Р.Ф., Жеребцова К.С., Охапкина О.Н.

Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия

sheina.marg0@yandex.ru

В основе требований к параметрам микроклимата в помещениях и транспортных средствах лежит понятие теплового комфорта – теплового состояния человека, которое характеризуется отсутствием дискомфортных теплоощущений, уровнем физиологических функций, лежащим в пределах физиологической нормы, минимальным напряжением механизмов терморегуляции. При полетах на больших высотах, в условиях низких и высоких температур проблема сохранения теплового комфорта особенно актуальна, поскольку тепловой дискомфорт оказывает негативное влияние на работоспособность экипажа.

В летательных аппаратах гражданской авиации наблюдается в целом низкий уровень автоматизации контроля теплового режима. Для устранения этого недостатка в систему кондиционирования воздуха требуется ввести алгоритм контроля теплового режима, основанный на одном из индексов теплового комфорта. Однако большинство существующих индексов теплового комфорта применимы только в узком климатическом диапазоне, расчет других в режиме реального времени ограничен техническим уровнем.

Целью работы является разработка системы контроля теплового режима в кабине летательного аппарата на основе оценки теплового комфорта экипажа.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведено аналитическое исследование критериев теплового комфорта, наиболее полно характеризующих тепловое состояние летчика в кабине летательного аппарата.
2. Разработана модифицированная модель теплового комфорта с учетом физиологической терморегуляции.
3. Разработана и реализована в программной среде Matlab система обратной связи для контроля теплового режима в кабине летательного аппарата.
4. Проведены два двухчасовых вычислительных эксперимента, имитирующих работу системы контроля теплового режима в нагревающем и охлаждающем микроклимате.

В результате анализа литературных данных было выявлено отсутствие критериев теплового комфорта, достаточно полно характеризующих тепловое состояние летчика в кабине вертолета.

В основе определения теплового комфорта лежит физиологический принцип терморегуляции: общие температурные ощущения человека зависят от баланса между его теплопродукцией и теплопотерями. В модели О.Фангера указанные балансные соотношения описываются уравнениями, устанавливающими связь между теплопродукцией, теплоизоляцией одежды человека, температурой воздуха, среднего теплового излучения, скоростью движения и влажностью воздуха. Оценка теплового комфорта осуществляется по индексам PMV (показатель, с помощью которого прогнозируют среднее значение чувствительности к температуре большой группы людей) и PPD (показатель, который устанавливает прогнозируемый процент недовольных температурой среды людей, которым слишком тепло или холодно). Однако несмотря на то, что модель О. Фангера является общепризнанной, ряд исследователей указывает на ограниченность ее применения: модель переоценивает влияние параметров окружающей среды на теплоощущения, так как не учитывает адаптационные возможности организма.

В качестве основы для введения в модель О.Фангера динамической компоненты выбрана модель физиологической терморегуляции, разработанная в 2025 году научным коллективом НИИЦ (АКМ и ВЭ, г. Москва) ЦНИИ ВВС (Минобороны России) для полетных условий (учитывает изменение процессов теплообмена с набором высоты) как в жаркой, так и в холодной климатической зоне, что позволяет применять ее для моделирования теплового состояния летчиков гражданской авиации.

Модель включает пассивную и активную составляющие. Пассивная модель представлена двумя узлами сферической (голова) и цилиндрической (туловище) формы, каждый из которых подразделяется на внутренний и внешний сегменты, кровообращение и одежда выделены как отдельные компартменты. Активная модель включает алгебраические уравнения, которые описывают процессы вазомоторной реакции, потоотделения и холодовой дрожи.

Статическая модель О. Фангера преобразована к динамическому виду посредством замены постоянных значений теплопродукции и средней взвешенной температуры кожи на значения, рассчитанные моделью физиологической терморегуляции.

Результаты моделирования с помощью модифицированной модели теплового комфорта согласуются с замечаниями к модели О.Фангера и отражают снижение влияния холодовых и тепловых факторов на тепловой комфорт благодаря адаптационным способностям организма.

На основе модифицированной модели теплового комфорта разработана система обратной связи, позволяющая удерживать тепловой режим в кабине летательного аппарата близким к комфортному.

В соответствии со стандартами тепловые условия считаются комфортными при $-1 < PMV < 1$. Система контроля теплового режима анализирует уровень PMV в полете. Если он выходит за указанные пределы, то система устанавливает целевое значение $PMV = 0$, к которому необходимо приблизить микроклимат за счет изменения температуры окружающей среды и скорости движения воздуха в кабине.

Функциональность системы контроля теплового режима проверена путем проведения вычислительных экспериментов. В результате моделирования установлено, что в холодной среде регуляция снижает процент недовольных PPD на 35 %, а в жаркой – на 61 %. Это свидетельствует о перспективности применения разработанного метода регулирования теплового режима при полетах в некомфортных внешних условиях.

THE TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN THE AIRCRAFT CABIN

Sheina M.A., Matyushev T.V., Cherednikov R.F., Zherebtsova K.S., Okhapkina O.N.

Center Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscom, Russia

sheina.marg0@yandex.ru

The requirements for microclimate parameters in buildings and vehicles are based on the concept of thermal comfort. It is the thermal state of a person that is described by the absence of uncomfortable heat sensations, normal physiological functions and minimal stress on the human body's thermoregulatory mechanisms. When flying at high altitudes in conditions of both low and high temperatures, maintaining thermal comfort becomes a significant problem because the thermal discomfort can have a negative impact on crew performance.

In general, the level of automation for temperature control in civil aviation aircrafts is low. It is necessary to implement an algorithm that monitors the thermal environment using one of the thermal comfort indices into the air conditioning system. However, most thermal comfort indices can only be applied in a narrow climatic range. Additionally, the calculation of some indices in real-time is limited by engineering level.

The study is intended to develop a system for monitoring the thermal environment in the aircraft cabin based on an assessment of the crew thermal comfort.

To achieve this aim, the following problems were completed.

1. The analytical study was performed to choose the thermal comfort criteria, which fully characterize the thermal status of the pilot in the aircraft cabin.

2. The modified model of thermal comfort taking into account physiological thermoregulation has been developed.

3. The feedback system for monitoring the thermal environment in the aircraft cabin has been designed by the Matlab software.

4. Two-hour computational experiments took place to simulate the operation of the temperature control system in a heating and cooling environment.

It was found that there are no thermal comfort indices that fully characterizes the thermal status of the pilot in the aircraft cabin.

The estimation of thermal comfort is based on the physiological principle of thermoregulation, which states that a person's overall temperature sensation depends on the balance between heat production and heat loss. Fanger model describes this balance by using equations that relate heat production, thermal resistance of clothing, air temperature, mean radiant temperature, relative air velocity, and relative air humidity. Thermal comfort is assessed by using PMV (Predicted Mean Vote) and PPD (Percentage of People Dissatisfied). Fanger model is widely accepted, but some researchers point out limitations to its application. The model overestimates the impact of environmental factors on heat perception because it doesn't take into account the human body adaptation.

The model of physiological thermoregulation, developed by the "Scientific Research Testing Center (Aerospace Medicine and Military Ergonomics) of the Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation" in 2025, was chosen as the basis to implement a dynamic component into Fanger model. This model takes into account changes in heat exchange processes with altitude gain, both in hot and cold climates, which allows it to simulate the thermal status of civil aviation pilots.

The model consists of passive and active components. Passive components are represented by two spherical (head) and cylindrical (torso) compartments, each divided into internal and external segments. Blood circulation and clothing are allocated as separate compartments. The active model includes algebraic equations that describe vasomotor reactions, sweating, and cold shivering.

The Fanger static model has been transformed into a dynamic form by replacing constant values of heat production and mean skin temperature with values calculated by a model of physiological thermoregulation.

The simulation results using the modified thermal comfort model correlate with comments on Fanger model and show a decrease in the impact of cold and thermal factors on thermal comfort due to the human body adaptation.

The feedback system based on the modified thermal comfort model was developed to maintain the thermal conditions in the aircraft cabin as close to comfortable as possible.

According to standards, thermal conditions are considered comfortable if $-1 < PMV < 1$. The temperature control system monitors the PMV during flight. If the PMV exceeds the specified limits, it sets the target $PMV = 0$. To achieve this, the ambient temperature and air velocity in the cabin are adjusted.

The functionality of the temperature control system was tested through computational experiments. It was discovered that regulation reduces PPD by 35 % in cold environments and 61 % in hot environments. It means that the developed method to regulate the thermal environment can be used during flight in uncomfortable external conditions.

ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ИЗОЛИРОВАННОЙ МАЛОЙ ГРУППЫ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Шишенина К.С.[1], Павлова Е.П.[2], Розанов И.А.[2]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

[2]Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), Москва, Россия

kshishenina@imbp.ru

Цель исследования: провести компаративный анализ эффективности применения различных видов психологической поддержки на основе технологий ВР (далее ПП ВР) для участников малой социальной группы после стрессового воздействия нештатных ситуаций.

Материалы и методы исследования. Исследование проводилось в международном изоляционном эксперименте «SIRIUS-23». Выборка составила 6 человек (2 мужчин и 4 женщины, возраст от 26 до 37 лет, M = 30,5, SD = 4,19). Была применена авторская анкета «Психологическая поддержка», построенная по принципу графического радикала (visual analog scales), сделанная на основе аналогичной анкете, применявшейся для оценки эффективности мероприятий ПП и у экипажей станций Салют-6 и Салют-7. Предназначалась для определения субъективной оценки следующих параметров психоэмоционального состояния испытуемых до и после ВР-сеансов по 5-бальной шкале: ОСиР – общее состояние и работоспособность, Н – настроение, УСДР – уровень сенсорно-двигательных реакций, УД – умственная деятельность, НПУ – нервно-психическая устойчивость, КОсК – качество общения с коллегами, ОкИ – отношение к изоляции.

Для оценки психоэмоциональных эффектов ВР использовались записи видеоотчетов до и после сеансов ВР. Анализ мимики анализируется в ПО NoldusFaceReader (далее FR) и позволяет объективно оценить вы-

раженность базовых эмоций. FR способен различать такие эмоции, как Happy, Sad, Angry, Surprised, Scared, Disgusted, Contempt (счастье, грусть, гнев, удивление, страх, отвращение, презрение), Neutral (отсутствие эмоций), Valence (общая валентность эмоций) и Arousal (возбуждение).

Контроль динамики показателей ВСР проводился по данным ЭКГ, для регистрации которой использовалось ПО «Стресс-контроль IV» и беспроводной безэлектродный индивидуальный кардиорегистратор.

Психокоррекция проводилась с помощью АПК с технологией ВР и предназначалась для профилактики функциональных состояний переутомления, астенизации и нервозности, стрессовых расстройств и восстановления психоэмоционального состояния в целом.

В настоящем исследования применялись активные и пассивные ВР-среды. К пассивным (релаксационным) средам были отнесены следующие перспективные средства индивидуального сопровождения членов экипажа: 1) ВР, дополненная суггестией; 2) Объемные видео 360 (24 вида), 3) ВР с участием животных. Активный контент включал: 1) «Виртуальное личное пространство» (ВЛП) – интерактивная комната для отдыха в виртуальном пространстве с возможностью ее обживания; 2) игры (5 видов).

Каждый сеанс на основе пассивных ВР-сред рассчитан на 7–21 минуту, в то время как пребывание в активных ВР-средах рекомендовано не более часа. Курс составил 5 сеансов, в вечернее время в течение 5 дней после запланированных нештатных ситуаций, таких как депривация сна совместно с разгрузкой грузового корабля и внекорабельная деятельность (ВКД). Полученные данные после 6 курсов исследования были подвергнуты математико-статистическому анализу с помощью ПО SPSS23.0.

Результаты исследования. Согласно данным анкетирования ВР-среда релаксационной направленности оказала положительное влияние, что подтверждается ростом всех показателей. При этом рост средних значений статистически достоверно значим для четырех показателей из семи: ОСиР (W, Z = -2,472, p = 0,013), Н (W, Z = -3,117, p = 0,02), КОсК (W, Z = -1,980, p = 0,048) и ОкИ (W, Z = -3,129, p = 0,002). Положительное влияние от интерактивного контента распространилось на 5 шкал (Н, УСДР, УД, НПУ и ОкИ) из 7 и статистически значим для двух – Н (W, Z = -2,182, p = 0,029) и НПУ (W, Z = -2,099, p = 0,036). При сравнении средних показателей анкеты ПП после активного и пассивного контента можем наблюдать, что субъективные оценки по всем шкалам выше после контента релаксационной направленности (на уровне тенденции переменных ОСиР (U, Z = -1,650; p = 0,099) и ОкИ (U, Z = -1,938; p = 0,053)).

Все полученные видео отчеты (360 штук) до и после сеанса ПП ВР были обработаны с помощью FR. После ПП ВР с пассивным контентом можем видеть, что снизилась доля нейтральных эмоций (W, Z = -4,028; p = 0,000), удивления и презрения. Наблюдается небольшое увеличение радости, грусти, злости, страха и отвращения. Возбуждение остается практически на том же уровне. После курсов ПП ВР с активным контентом наблюдается снижение уровня нейтральных эмоций (W, Z = -2,611; p = 0,009), злости и презрения. Показатели радости, грусти, удивления, страха, отвращения и возбуждения демонстрируют небольшое увеличение.

При сравнении двух видов контента, можем заметить, что после пассивного контента среднее значение нейтральной компоненты выше, а возбуждение ниже, в сравнении с активным контентом. Выраженность таких эмоций как грусть и гнев выше после пассивного контента, в то время как остальные негативные эмоции, такие как страх, отвращение и презрение выражены сильнее после взаимодействия с интерактивными средами и выраженность показателей счастья и удивления также выше.

Полученные данные позволили увидеть изменения ВСР после сеансов ПП ВР. Снижение HR свидетельствует о состоянии расслабления (W, Z = -4,762, p = 0,0001). Увеличение SDNN (W, Z=-2,629, p = 0,009) и HF говорит о росте ВСР, что указывает на усиление парасимпатической активности (то есть, более эффективная работа нервной системы, отвечающей за расслабление). Снижение LF говорит о снижении низкочастотного компонента также поддерживает гипотезу о снижении стресса и активации парасимпатической нервной системы. Небольшое увеличение VLF и ПАРС примерно остался на том же уровне.

Все показатели ВСР после активного контента увеличиваются и для SDNN значения статистически значимы (W, Z = -2,046, p = 0,041). При сравнении показателей ВСР после пассивного и активного контента заметно, что средние значения HR и VLF ниже после пассивного контента, SDNN, HF и ПАРС выше. Среднее значения LF не различаются.

Выводы. Исследование показало, что пассивный контент оказывает более выраженное влияние на психоэмоциональное и функциональное состояние, способствуя расслаблению и снижению стресса, что подтверждается данными исследования. В последующих экспериментах стоит учитывать «приедаемость» контента, индивидуальные предпочтения и сензитивность вестибулярного аппарата испытуемых. Рекомендуется применять контент в зависимости от его специфики в разные периоды эксперимента: пассивный контент для помощи в пиковые напряжения при НС, а активный скорее для скрашивания досуга и назначать без четкой регламентации.

VIRTUAL REALITY AS A METHOD OF PSYCHOLOGICAL SUPPORT FOR ISOLATED SMALL GROUP

Shishenina K.S.[1], Pavlova E.P.[2], Rozanov I.A.[2]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia

kshishenina@imbp.ru

Research objective: to conduct a comparative analysis of the effectiveness of applying different types of psychological support based on VR technologies (hereinafter referred to as VR PS) for participants of a small social group after the stressful impact of abnormal situations.

Materials and methods of the study. The study was conducted in the international isolation experiment «SIRIUS-23». The sample consisted of 6 people (2 men and 4 women, age from 26 to 37 years, M = 30.5, SD = 4.19). The author's questionnaire 'Psychological Support' was used, built on the principle of graphic radical (visual analogue scales), made on the basis of a similar questionnaire, used to assess the effectiveness of PS measures and in the crews of Salyut-6 and Salyut-7 stations. The questionnaire was designed to determine the subjective assessment of the following parameters of the psycho-emotional state of the subjects before and after VR sessions on a 5-point scale: GS&WC - general state and working capacity, M – mood, LoSMR – level of sensory-motor reactions, MA – mental activity, NS – neuropsychic stability, QoCwC – quality of communication with colleagues, AtI – attitude to isolation.

To assess the psychoemotional effects of VR, video-reports before and after VR sessions were used. Mimicry analysis is analysed in Noldus FaceReader software (hereinafter FR) and allows to objectively assess the expression of basic emotions. FR can distinguish such emotions as Happy, Sad, Angry, Surprised, Scared, Disgusted, Contempt, Neutral (absence of emotion), Valence (general valence of emotion) and Arousal.

The dynamics of HRV parameters was monitored using ECG data, which was recorded using the software 'Stress Control IV' and a wireless electrode-free individual cardiac recorder.

Psychocorrection was carried out using a hardware and software complex with VR technology and was intended to prevent functional states of fatigue, asthenisation and nervousness, stress disorders and restore the psycho-emotional state in general.

Active and passive VR environments were used in this study. The passive (relaxation) environments included the following promising means of individual accompaniment of crew members: 1) VR supplemented with suggestion; 2) 360 volumetric videos (24 types), 3) VR with animals. Active content included: 1) 'Virtual Personal Space' (VPS) – an interactive room for recreation in virtual space with the possibility to inhabit it; 2) games (5 types).

Each session based on passive VR environments was designed for 7-21 minutes, while staying in active VR environments was recommended for no more than an hour. The course consisted of 5 sessions, in the evening for 5 days after planned abnormal situations such as sleep deprivation in conjunction with cargo ship unloading and extravehicular activities (EVA). The data obtained after 6 courses of the study were subjected to mathematical and statistical analysis using SPSS23.0 software.

Results of the study. According to the questionnaire data, the VR-environment of relaxation orientation had a positive effect, which is confirmed by the growth of all indicators. At that, the growth of average values is statistically significant for four indicators out of seven: GS&WC (W, Z = -2,472, p = 0,013), M (W, Z = -3,117, p = 0,02), QoCwC (W, Z = -1,980, p = 0,048) and AtI (W, Z = -3,129, p = 0,002). The positive influence from interactive content extended to 5 scales (M, LoSMR, MA, NS and AtI) out of 7 and was statistically significant for two – M (W, Z = -2.182, p = 0.029) and NS (W, Z = -2.099, p = 0.036). When comparing the mean scores of the PP questionnaire after active and passive content, we can observe that subjective scores on all scales are higher after content of relaxation orientation (at the trend level of the variables GS&WC (U, Z = -1.650; p = 0.099) and AtI (U, Z = -1.938; p = 0.053)).

All received video reports (360 pieces) before and after the PS VR session were processed using FR. After PS VR with passive content we can see that the proportion of neutral emotions (W, Z = -4.028; p = 0.000), surprise and contempt decreased. There is a slight increase in joy, sadness, anger, fear and disgust. Excitement remains almost at the same level. There is a decrease in neutral emotion (W, Z = -2.611; p = 0.009), anger and contempt after PS BP courses with active content. Indicators of joy, sadness, surprise, fear, disgust and excitement show a slight increase.

When comparing the two types of content, we can notice that after passive content the average value of the neutral component is higher and arousal is lower compared to active content. The expression of emotions such as sadness and anger is higher after passive content, while the other negative emotions such as fear, disgust and contempt are expressed more strongly after interacting with interactive environments and the expression of happiness and surprise scores are also higher.

The obtained data allowed us to see the changes in HRV after PS VR sessions. A decrease in HR indicates a state of relaxation (W, Z = -4.762, p = 0.0001). An increase in SDNN (W, Z = -2.629, p = 0.009) and HF indicates an increase in HRV, indicating an increase in parasympathetic activity (i.e., more efficient operation of the nervous system responsible for relaxation). The decrease in LF suggests a decrease in the low-frequency component also supports the hypothesis of reduced stress and activation of the parasympathetic nervous system. A slight increase in VLF and the index of activity of regulatory systems approximately remained at the same level.

All HRV indices increase after active content and for SDNN the values are statistically significant (W, Z = -2.046, p = 0.041). When comparing HRV indices after passive and active content, it is noticeable that mean HR and VLF values are lower after passive content, SDNN, HF and the index of activity of regulatory systems are higher. The mean values of LF do not differ.

Conclusions. The study showed that passive content has a more pronounced effect on psycho-emotional and functional state, promoting relaxation and stress reduction, which is supported by the study data. In future experiments, it is worth taking into account the specificity of the content in different periods of the experiment, 'addictiveness' of the content, individual preferences and sensitivity of the vestibular apparatus of the subjects.

ВЛИЯНИЕ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА ПОСТУРАЛЬНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Шишкин Н.В., Билоус Е.С., Глаголева С.О., Томиловская Е.С.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

chachaturan@yandex.ru

«Сухая» иммерсия (СИ) – одна из наиболее используемых наземных моделей физиологических эффектов микрогравитации, воспроизводящая фактор безопорности и аксиальной весовой разгрузки. Постуральная неустойчивость – одно из следствий космических полетов, моделируемое с помощью СИ. На ее формирование оказывает влияние как изменение активности моторной коры вследствие снижения двигательной активности и опорной афферентации, так и ортостатический фактор, изменение функционирования сердечно-сосудистой системы вследствие гипокинезии и снижения активности антигравитационных сосудистых механизмов. Цель работы – исследовать изменения постуральной устойчивости и изменения функционирования сердечно-сосудистой системы в ходе воздействия опорной разгрузки.

Восемь здоровых добровольцев в возрасте от 32,2 ± 5,8 лет приняли участие в 15-суточной СИ. Для анализа постуральной устойчивости использовали стабилометрическую платформу. Регистрировали типичные стабилографические параметры: скорость перемещения центра давления (ЦД) и разброс колебаний ЦД, вычисленный как стандартное отклонение расстояния от средней сагиттальной и фронтальной координат стабилограммы до траектории движения ЦД. Исследования проводили дважды до начала иммерсионного воздействия (фон1, фон2), ежедневно в ходе иммерсии (вечером перед гигиеническими процедурами), непосредственно после окончания воздействия СИ, а также через 1 и 2 суток после его окончания. Необходимо отметить, что в середине иммерсионного эксперимента проводилась длительная, 6-часовая выемка испытателя из ванны для проведения тестирований сенсомоторной и мышечной системы (8-е сутки). В эти сутки данное стабилографическое исследование проводилось не сразу после выемки испытателя из ванны, а после 2-х тестов вертикальной стойки с открытыми и закрытыми глазами (для подометрических исследований) по 40 секунд и ходьбы в течение 20–30 секунд.

Испытуемые в течение 20 с стояли с открытыми (ГО) и закрытыми (ГЗ) глазами на твердой (ТВ) опоре, с ГЗ на мягкой (М) опоре и с ГЗ на мягкой опоре, одновременно покачивая головой в сагиттальной плоскости (КАЧ). Эти покачивания модулировались специальным звуком, задающим частоту колебаний 0,33 Гц. Во время всех этих тестов регистрировали электрокардиограмму (ЭКГ). Вычисляли средний пульс (ударов в минуту, уд/мин) и вариабельность сердечного ритма (ВСР) – квадратный корень из средней суммы квадратов разностей между соседними RR-интервалами (секунды, с).

При ГО ТВ и ГЗ ТВ стабилографические параметры значимо не изменялись в ходе СИ. Однако следует отметить, что во вторую неделю исследования увеличивался третий квартиль значения величины скорости (с 15 до 35 мм/с). При ГЗ М было обнаружен рост показателей по сравнению со вторым фоновым исследованием – скорости ЦД с 48,6 (19,0 – первый квартиль, 63,3 – третий) во время фон2 до 109,8 (86,9; 134,6). Увеличение статистически незначимое, видимо вследствие малой выборки. Значимое увеличение скорости ЦД по сравнению с исходными значениями обнаружено на 2-е сутки СИ (медиана 90,9; первый

квартиль 53,3; 3-й – 116). Аналогичное увеличение медианного значения почти в 2 раза, но без статистической значимости обнаружено и для разброса колебаний ЦД. Данный факт позволяет предположить, что постуральная устойчивость снижается не в течение нескольких суток воздействия опорной разгрузки, а уже в первые 10 часов (время между погружением в ванну и первым исследованием). Далее стабилографические показатели оставались в пределах достигнутых в первые 2 суток значений, но наблюдались «проседания» в день теста, проводимого во время длительной выемки испытателя (8-е сутки). Так, на 7-е сутки СИ скорость ЦД при ГЗ М составляла 87,8 мм/с, на 8-е сутки (длительная выемка) – 45,2 мм/с, на 8-е сутки вечером, после возвращения в иммерсионную ванну, перед выемкой испытателя на гигиенические процедуры – 110,5 мм/с.

Данный факт позволяет предположить, что сеанс коротких постуральных и локомоторных тестов перед нашим стабилографическим исследованием оказывает значимое влияние на постуральные характеристики.

Корреляции между пульсом, ВСР и стабилографическими параметрами были обнаружены не для всех дней исследования. Вероятно, данной величины выборки недостаточно для их получения. Величины среднего пульса и ВСР также значимо не росли, однако медианные значения изменялись: пульс рос с 65-75 уд/мин в фоновых исследованиях до 95–100 уд/мин на 6-е сутки СИ, при этом разницы между условиями ГО, ГЗ, твердая, мягкая опора – не наблюдалось в течение всех дней исследования. Можно предположить, что поддержание позы при усложненных условиях не приводит к увеличению энергозатрат. Во время длительной выемки на 8-е сутки пульс во время исследований рос до 105–107 уд/мин, вечером того же дня снижался до 90–96 уд/мин, оставаясь в этих пределах до окончания СИ. В день окончания СИ пульс поднимался до 112–117 уд/мин, ко вторым суткам снижался до 80–83.

Вариабельность сердечного ритма изменялась также статистически незначительно, но по средним значениям сильно снижалась во время СИ: при ГО ТВ она падала с 0,15 до 0,015 на 4-е сутки СИ, 0,006 – во время длительной выемки, 0,008 - в день окончания СИ. В самом сложном условии – ГЗ М КАЧ – ВСР снижалась с 0,04 сек во втором фоновом исследовании до 0,001 во время длительной выемки на 8-е сутки, увеличиваясь до 0,03 сек во время первого исследования непосредственно после окончания СИ.

В заключение можно сделать вывод о крайней важности разделения влияния на постуральную неустойчивость сердечно-сосудистых и прочих факторов. Показатели ритма сердца изменяются не так быстро во время иммерсионного воздействия, как стабилометрические параметры. Вероятно, в первые сутки СИ ведущую роль играют изменения в сенсомоторной системе, однако после 4–6 суток, когда ЭКГ-показатели выходят на плато, они определенно играют значимую роль в обеспечении постуральной устойчивости.

Финансовая поддержка: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-15-00309, https://rscf.ru/project/24-15-00309/.

THE EFFECT OF «DRY» IMMERSION OF VARIOUS DURATION ON POSTURAL STABILITY AND HEART RATE CHARACTERISTICS

Shishkin N.V., Bilous E.S., Glagoleva S.O., Tomilovskaya E.S.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

chachaturan@yandex.ru

«Dry» immersion (DI) is one of the most widely used terrestrial models of the physiological effects of microgravity, reproducing the factor of support and axial weight unloading. Postural instability is one of the consequences of space flights, modeled using DI. Its formation is influenced by changes in the activity of the motor cortex due to a decrease in motor activity and support afferentation, as well as an orthostatic factor, a change in the functioning of the cardiovascular system due to hypokinesia and a decrease in the activity of antigravity vascular mechanisms. The aim of the work is to investigate changes in postural stability and changes in the functioning of the cardiovascular system during exposure to support unloading.

Eight healthy volunteers aged 32.2 ± 5.8 years participated in a 15-day DI. A stabilometric platform was used to analyze postural stability. Typical stabilographic parameters were recorded: the velocity of movement of the center of pressure (CoP) and the range of oscillations of the CoP, calculated as the standard deviation of the distance from the average sagittal and frontal coordinates of the stabilogram to the trajectory of the CoP. The studies were performed twice before the start of immersion exposure (base data collections, bdc1, bdc2), daily during immersion (in the evening before hygiene procedures), immediately after the end of DI exposure, as well as 1 and 2 days after its end. It should be noted that in the middle of the immersion experiment, a long, 6-hour

removal of the volunteer from the bath was carried out to test the sensorimotor and muscular systems (8th day). On these days, this stabilographic study was conducted not immediately after removing the volunteer from the bath, but after 2 tests of a vertical stand with open and closed eyes (for podometric studies) for 40 seconds and walking for 20–30 seconds.

The subjects stood for 20 seconds with their eyes open (EO) and closed (EC) on a firm (F) support, with EC on a soft (S) support and with EC on a soft support, simultaneously swaying their heads in the sagittal plane (SWAY). These motions were modulated by a special sound setting the oscillation frequency to 0.33 Hz. An electrocardiogram (ECG) was recorded during all these tests. The average pulse (beats per minute, beats/min) and heart rate variability (HRV) were calculated – the square root of the average sum of the squares of the differences between neighboring RR intervals (seconds, s).

With EO F and EC F, the stabilographic parameters did not significantly change during DI. However, it should be noted that in the second week of the study, the third quartile of the velocity value increased (from 15 to 35 mm/s). In EC S, an increase in indicators was found compared with the bdc2 – the CoP velosity from 48.6 (19.0 – the first quartile, 63.3 – the third) during bdc2 to 109.8 (86.9; 134.6). The increase is statistically insignificant, probably due to the small sample. A significant increase in CoP velosity compared to bdc2 values was detected on the 2nd day of DI (median 90.9; first quartile 53.3; 3rd – 116,0). A similar increase in the median value by almost 2 times, but without statistical significance, was also found for the rabge of CoP fluctuations. This fact suggests that postural stability decreases not during several days of exposure to the support unloading, but already in the first 10 hours (the time between immersion in the bath and the first test). Further, the stabilographic indicators remained within the values reached in the first 2 days, but «subsidence» was observed on the day of the test performed during a long removal of the volunteer from the DI (8th day). So, on the 7th day of DI, the CoP velosity at EC S was 87.8 mm/s, on the 8th day (prolonged excavation) – 45.2 mm/s, on the 8th day in the evening, after returning to the immersion bath, before the hygienic procedures – 110.5 mm/s.

This fact suggests that a session of short postural and locomotor tests before our stabilographic examination has a significant effect on postural characteristics.

Correlations between pulse, HRV, and stabilographic parameters were not found for all days of the study. Probably, this sample size is not enough to obtain them. The values of the average pulse and HRV also did not significantly increase, but the median values changed: the pulse increased from 65-75 beats /min in the background studies to 95-100 beats /min on the 6th day of DI, while the difference between the conditions of EO, EC, firm, soft support was not observed during all the days of the study. It can be assumed that maintaining a vertical stance under difficult conditions does not lead to an increase in energy consumption. During prolonged removal from the bath on the 8th day, the pulse rate increased to 105–107 beats/min during the studies, and decreased to 90–96 beats/min in the evening of the same day, remaining within these limits until the end of the DI. On the day of the end of DI, the pulse rate rose to 112–117 beats/min, by the second day it decreased to 80–83.

Heart rate variability also changed statistically insignificantly, but on average it decreased significantly during DI: with EO F, it fell from 0.15 to 0.015 s on the 4th day of DI, 0.006 s – during prolonged evacuation, 0.008 s – on the day of the end of DI. In the most difficult condition, EC S, HRV decreased from 0.04 seconds in the bdc2 to 0.001 s during prolonged evacuation on day 8, increasing to 0.03 seconds during the first study immediately after the end of DI.

In conclusion, it can be concluded that it is extremely important to separate the influence of cardiovascular and other factors on postural instability. Heart rate indicators do not change as quickly during immersion exposure as the stabilometric parameters. Probably, changes in the sensorimotor system play a leading role on the first day of DI, but after 4–6 days, when ECG indicators reach a plateau, they definitely play a significant role in ensuring postural stability.

Financial support: The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 24-15-00309, https://rscf.ru/project/24-15-00309/.

АДАПТАЦИОННЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ В СИСТЕМЕ В-ЗВЕНА ИММУНИТЕТА ИСПЫТАТЕЛЕЙ-ДОБРОВОЛЬЦЕВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ С 366-СУТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ В ГЕРМООБЪЕМЕ (SIRIUS-23)

Шмаров В.А., Рыкова М.П., Орлова К.Д., Жирова Э.А., Кутько О.В., Пономарёв С.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

shmarov.v.a@gmail.com

Введение. Опыт пилотируемых космических полетов (КП) на низкой околоземной орбите показал, что длительное пребывание на борту космической станции приводит к изменениям функционирования гравитационно-зависимых и регуляторных систем организма, включая систему иммунитета. Один из видов моделирования воздействия факторов космического полета на организм человека – эксперименты с длительной изоляцией испытателей-добровольцев в условиях гермообъема. Среди них важное место занимает осуществленный на базе Наземного экспериментального комплекса ИМБП РАН (НЭК) проект SIRIUS-23 – 366-суточный изоляционный эксперимент, воспроизводящий основные характеристики перспективной межпланетной экспедиции. Несмотря на достаточно большое количество работ, вплоть до настоящего момента остаются малоизученными вопросы о процессах, происходящих при длительном действии негативных факторов КП в В-звене иммунной системы - играющем основную роль в обеспечении гуморального иммунитета. Функциональная активность этой популяции иммунокомпетентных клеток не исчерпывается продукцией защитных антител. Субпопуляции В-лимфоцитов влияют на противомикробные защитные механизмы и воспалительные процессы в тканях организма, непосредственно участвуют в активации Т-клеток путем презентации антигена, костимуляции и вы¬работки цитокинов, а также выступают в роли регуляторных клеток, которые управляют и клеточны¬м, и гуморальным иммунными ответами.

Целью работы было изучение динамики и направленности перестроек в системе В-звена иммунной системы организма человека в условиях 366-суточного эксперимента с изоляцией в гермообъекте с искусственной средой обитания.

Материалы и методы. Двенадцатимесячный изоляционный эксперимент SIRIUS-23 был проведен с участием 6 испытателей-добровольцев в возрасте от 26 до 37 лет (четырех женщин и двоих мужчин), получивших допуск врачебно-экспертной комиссии и подписавших информированное согласие на участие в эксперименте в соответствии с Хельсинской декларацией. Программа экспериментальных исследований была одобрена Комиссией по биомедицинской этике при ГНЦ РФ – ИМБП РАН, рассмотрена и утверждена на заседании Ученого Совета ГНЦ РФ-ИМБП РАН (Протокол № 643 от 07.07.2023).

Материалом исследования служила венозная кровь, взятая в фоновом периоде (на минус 3-и сутки), во время изоляции (7-, 60-, 67-, 93-, 94-, 187-, 355-е сутки), а также на 5-е сутки периода восстановления). Содержание В-лимфоцитов и их субпопуляций определяли методом проточной цитофлюориметрии с использованием панели моноклональных антител против следующих мембранных рецепторов клеток: CD45, CD19, CD5, CD40, CD27, IgD. Адаптационные перестройки в системе В-лимфоцитов оценивались по динамике абсолютного и относительного содержания общего пула В-клеток (CD45+CD19+), В1-клеток (CD45+CD19+CD5+), В2-клеток (CD45+CD19+CD5–), CD40+ В-клеток (CD45+CD19+CD40+), наивных В-клеток (CD45+CD19+CD5–CD27–IgD+), В-клеток памяти (CD45+CD19+CD5–CD27+).

Результаты и обсуждение. Различий между значениями абсолютного и относительного содержания В-лимфоцитов, полученными за 3 суток до начала изоляции, и значениями этих показателей во время 366-суточного пребывания в гермообъекте и в периоде восстановления, обнаружено не было. Вместе с тем более детальный анализ субпопуляционного состава В-лимфоцитов показал достоверное снижение относительного содержания В1-лимфоцитов на 94 сутки (после 24 часов депривации сна) и в восстановительном периоде в сравнении с фоновыми значениями. Помимо этого, имело место достоверное уменьшение абсолютного числа В1-лимфоцитов на 7-е сутки (период ранней адаптации) и 355-е сутки (период перед выходом из изоляции) эксперимента в сравнении с фоновыми показателями.

В1-клетки обладают рядом протективных функций, а также участвуют в развитии аутоиммунных процессов. Значительная часть циркулирующих сывороточных антител, или естественных антител, главным образом изотипа IgM, вырабатывается В1-клетками даже при полном отсутствии какой-либо антигенной стимуляции. Данные антитела обладают полиреактивностью и связываются с несколькими антигенами, напрямую нейтрализуя и подавляя раннюю репликацию патогена. Соответственно, снижение в эксперименте численности продуцентов естественных антител - В1-клеток - может говорить о рисках повышения восприимчивости к возбудителям инфекций.

Важным эффектом изоляции оказался рост относительного содержания субпопуляции клеток, составляющей подавляющее большинство В-лимфоцитов во взрослом организме человека – В2-клеток, на 94-е сутки экспериментального воздействия и на 5-е сутки периода восстановления в сравнении с фоновыми значениями. При этом их абсолютное количество не претерпевало существенных изменений. В2-клетки вовлекаются во взаимодействие с Т-лимфоцитами, способны к переключению изотипа иммуноглобулинов, дифференцировке в В-клетки памяти и плазматические клетки. Кроме того, на 93-и сутки (до депривации сна), 94-е сутки (после 24 часов депривации сна) и в периоде восстановления наблюдался достоверный рост относительного количества В-клеток, экспрессирующих молекулу Т-В корецепторного взаимодействия CD40. Также на 94-е сутки изоляции имело место достоверное увеличение и абсолютного содержания CD40+ В-клеток. Для полной активации В-лимфоциту необходимо установление контакта с Т-клеткой с образованием В-Т-конъюгата при участии костимулирующего рецептора CD40, соответственно, рост в эксперименте числа В2-клеток и CD40+ В-клеток, обеспечивающих процессы Т-В межклеточной кооперации отражает сложные перестройки в иммунной системе организма человека при действии моделируемых факторов космического полета.

На заключительном этапе экспериментального воздействия (355-е сутки) достоверно снижалось абсолютное содержание В-клеток памяти, тогда как содержание наивных В-клеток на протяжении всего эксперимента достоверно не изменялось. В-клетки памяти не участвуют в иммунном ответе, в ходе которого они образовались, однако в ходе вторичного иммунного ответа их реакция оказывается более оперативной, мощной и результативной, чем ответ наивных лимфоцитов. Данная В-клеточная субпопуляция также важна при дифференцировке В-лимфоцитов в плазматические клетки. Снижение ее численности в эксперименте может свидетельствовать об угнетении функциональной активности В-звена во время изоляции.

Заключение. В результате работы был выявлен комплекс признаков перестройки, затрагивающих изменения в системе В-звена иммунитета человека. Среди них наиболее значимыми являются рост числа CD40+ и В2-клеток, и, напротив, снижение числа В1- и В-клеток памяти. Полученный фактический материал свидетельствует о перспективности оценки особенностей В-звена адаптивного иммунитета в наземных изоляционных экспериментах в гермообъекте с искусственной средой обитания различной продолжительности для разработки персонализированных средств и методов профилактики и коррекции дезадаптационных патологических влияний физиологических и психологических стрессорных факторов.

Работа выполнена в рамках фундаментальных исследований по базовой тематике РАН № FMFR-2024-0039.

ADAPTIVE CHANGES IN THE B-LINK IMMUNITY OF TEST-VOLUNTEERS IN AN EXPERIMENT WITH 366-DAY ISOLATION IN A HERMETIC VOLUME (SIRIUS-23)

Shmarov V.A., Rykova M.P., Orlova K.D., Zhirova E.A., Kutko O.V., Ponomarev S.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

shmarov.v.a@gmail.com

Introduction. The experience of manned space flights (SF) in low Earth orbit has shown that a long stay on board a space station leads to changes in the functioning of gravity-dependent and regulatory systems of the body, including the immune system. One of the types of modeling the impact of space flight factors on the human body is experiments with long-term isolation of volunteer test subjects in a hermetic volume. Among them, an important place is occupied by the SIRIUS-23 project, a 366-day isolation experiment reproducing the main characteristics of a promising interplanetary expedition, carried out at the Ground Experimental Complex of the Institute of Biomedical Problems of the RAS. Despite a fairly large number of studies, up to the present moment, the issues of the processes occurring during long-term action of negative SF factors in the B-link of the immune system, which plays a major role in ensuring humoral immunity, remain poorly studied. The functional activity of this population of immunocompetent cells is not limited to the production of protective antibodies. Subpopulations of B lymphocytes influence antimicrobial defense mechanisms and inflammatory processes in body tissues, are directly involved in the activation of T cells through antigen presentation, costimulation and cytokine production, and also act as regulatory cells that control both cellular and humoral immune responses.

The aim of the work was to study the dynamics and direction of restructuring in the B-link of the human immune system in a 366-day experiment with isolation in a hermetic facility with an artificial habitat.

Materials and methods. The twelve-month isolation experiment SIRIUS-23 was conducted with the participation of 6 test-volunteers aged 26 to 37 years (four women and two men) who received approval from the medical expert

commission and signed informed consent to participate in the experiment in accordance with the Declaration of Helsinki. The experimental research program was approved by the Biomedical Ethics Committee of the Institute of Medical Problems of the RAS, reviewed and approved at a meeting of the Scientific Council of the Institute of Medical Problems of the RAS (Protocol No. 643 dated 07.07.2023).

The study material was venous blood taken in the background period (on the minus 3rd day), during isolation (7th, 60th, 67th, 93rd, 94th, 187th, 355th days), and also on the 5th day of the recovery period). The content of B-lymphocytes and their subpopulations was determined by flow cytofluorometry using a panel of monoclonal antibodies against the following membrane cell receptors: CD45, CD19, CD5, CD40, CD27, IgD. Adaptive rearrangements in the B-lymphocyte system were assessed by the dynamics of the absolute and relative content of the total pool of B-cells (CD45+CD19+), B1-cells (CD45+CD19+CD5+), B2-cells (CD45+CD19+CD5–), CD40+ B-cells (CD45+CD19+CD40+), naive B-cells (CD45+CD19+CD5–CD27–IgD+), memory B-cells (CD45+CD19+CD5–CD27+).

Results and discussion. No differences were found between the absolute and relative B-lymphocyte counts obtained 3 days before isolation and the values of these indicators during the 366-day stay in the hermetic facility and the recovery period. However, a more detailed analysis of the subpopulation composition of B-lymphocytes showed a significant decrease in the relative content of B1-lymphocytes on day 94 (after 24 hours of sleep deprivation) and in the recovery period compared to background values. In addition, there was a significant decrease in the absolute number of B1-lymphocytes on day 7 (early adaptation period) and day 355 (the period before leaving isolation) of the experiment compared to background values.

B1-cells have a number of protective functions and are also involved in the development of autoimmune processes. A significant portion of circulating serum antibodies, or natural antibodies, mainly of the IgM isotype, are produced by B1 cells even in the complete absence of any antigen stimulation. These antibodies are polyreactive and bind to several antigens, directly neutralizing and suppressing early pathogen replication. Accordingly, a decrease in the number of natural antibody producers, B1 cells, in the experiment may indicate the risks of increased susceptibility to infectious agents.

An important effect of isolation was the increase in the relative content of the cell subpopulation that makes up the overwhelming majority of B-lymphocytes in the adult human body - B2 cells, on the 94th day of the experimental exposure and on the 5th day of the recovery period compared to the background values. At the same time, their absolute number did not undergo significant changes. B2 cells are involved in the interaction with T-lymphocytes, are capable of switching the immunoglobulin isotype, differentiating into memory B-cells and plasma cells. In addition, on the 93rd day (before sleep deprivation), the 94th day (after 24 hours of sleep deprivation) and during the recovery period, a reliable increase in the relative number of B-cells expressing the T-B coreceptor interaction molecule CD40 was observed. Also, on the 94th day of isolation, there was a reliable increase in the absolute content of CD40+ B-cells. For full activation, a B-lymphocyte must establish contact with a T-cell to form a B-T-conjugate with the participation of the costimulating receptor CD40. So, the growth in the experimental number of B2-cells and CD40+ B-cells that provide T-B intercellular cooperation processes reflects complex changes in the human immune system under the influence of simulated space flight factors.

At the final stage of the experimental exposure (day 355), the absolute content of memory B-cells significantly decreased, while the content of naive B-cells did not change significantly throughout the experiment. Memory B-cells do not participate in the immune response during which they were formed, but during the secondary immune response, their reaction is more rapid, powerful and effective than the response of naive lymphocytes. This B-cell subpopulation is also important in the differentiation of B-lymphocytes into plasma cells. A decrease in its numbers in the experiment may indicate the suppression of the functional activity of the B-link during isolation.

Conclusion. As a result of the work, a set of signs of restructuring affecting changes in the B-link of human immunity was revealed. Among them, the most significant are the increase in the number of CD40+ and B2 cells, and, conversely, a decrease in the number of B1 and B-memory cells. The obtained factual material indicates the prospects of assessing the features of the B-link of adaptive immunity in ground-based isolation experiments in a hermetic facility with an artificial habitat of varying duration for the development of personalized means and methods for the prevention and correction of maladaptive pathological effects of physiological and psychological stress factors.

The work was carried out within the framework of fundamental research on the basic topics of the Russian Academy of Sciences No. FMFR-2024-0039.

ОЦЕНКА ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕЛОЭГОМЕТРИЧЕСКИХ ТРЕНИРОВОК ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ АНТИ- И ОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ХОДЬБЫ И СКОРОСТНО-СИЛОВОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Шпаков А.В.[1, 2], Воронов А.В.[1, 2], Баранов В.М.[1], Баранов М.В.[1], Пучкова А.А.[1], Катунцев В.П.[1], Воронова А.А.[2], Ставровская Д.М.[1], Примаченко Г.К.[1]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

[2]Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва, Россия

avshpakov@gmail.com

Цель исследования – оценить эффективность применения физических тренировок (ФТ) на велоэргометре как средства профилактики в условиях последовательного воздействия анти- (АНОГ) и ортостатической гипокинезии (ОГ).

Использование модели последовательного воздействия АНОГ и ОГ обусловлено следующим. Перевод испытуемых в положение АНОГ с углом наклона -6° позволяет моделировать физиологические эффекты невесомости при полете к Луне. При переводе испытуемых в ОГ с углом наклона +9,6° моделируются физиологические эффекты лунной гравитации. Таким образом, используя последовательно АНОГ и ОГ можно смоделировать физиологические эффекты лунной миссии.

В исследовании приняли участие 12 испытуемых (25,7 ± 4,1 лет, 75,7 ± 7,8 кг, 179,3 ± 6,2 см), разделенные на две равные группы: КОНТРОЛЬ (КОНТ) и ТРЕНИРОВКА (ТРЕН). Профилактическая эффективность ФТ в условиях гипокинезии выполнена по результатам локомоторного и скоростно-силового тестирования. Общая продолжительность гипокинезии – 10 суток, из которых первые 3-е суток испытуемые находились в условия АНОГ, а начиная с 4-х суток – в ОГ. Начиная с 4-х суток испытуемые ТРЕН выполняли ежедневные ФТ на велоэргометре, находясь в ортостатическом положении. Основу ФТ составляла программа тренировок на велоэргометре, рекомендованная для космонавтов на протяжении длительных космических полетов.

До и на первые сутки после гипокинезии выполняли тестирование на беговой дорожке (БД) – ходьбу со скоростью 3,5 км/ч с разными углами наклона полотна: 0°, +12° градусов и -12°. Скоростно-силовое тестирование мышц-разгибателей коленного сустава (КС) выполняли в изокинетическом режиме на динамометре «BIODEX System 4 Pro» на угловых скоростях 300, 240, 180, 120 и 60 град/с. При выполнении локомоций регистрировали ЭМГ-активность мышц голени и бедра: mm. vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), biceps femoris (BF), tibialis anterior (TA), gastrocnemius medialis (GM), soleus (SOL). При выполнении скоростно-силового тестирования регистрировали ЭМГ-активность мышц-разгибателей коленного сустава VL, VM, m. rectus femoris (RF).

Анализ кинематических характеристик ходьбы в КОНТ выявил следующие изменения амплитуды угловых перемещений после гипокинезии: в КС – уменьшением при переносе ноги при ходьбе 0°; в голеностопном суставе (ГС) – уменьшение при постановке стопы на опору при ходьбе +12°. При уклоне -12° угол в КС и ГС во время отталкивания уменьшался. При переносе ноги амплитуда угловых перемещений КС после гипокинезии не отличалась от исходных показателей. В ГС перенос ноги выполнялся с увеличением сгибания, что, скорее всего, связано с необходимостью подъема стопы на высоту, чуть бóльшую, чем до гипокинезии.

В ТРЕН при ходьбе 0° достоверных изменений кинематики КС по сравнению с фоновыми показателями не было выявлено. Увеличение угла наклона БД до +12° сопровождалось достоверным увеличением амплитуды угловых перемещений в ГС при отталкивании. При переносе ноги сгибание ГС достоверно уменьшалось при ходьбе 0° и +12°. При уклоне -12° разгибание КС во время отталкивания достоверно увеличивалось. В ГС амплитуда угловых перемещений после гипокинезии не отличалась от фоновых величин.

После гипокинезии изменения ЭМГ-стоимости работы мышц при ходьбе 0° (снижение ЭМГ-стоимости TA увеличение в SOL и GM) не различалась между группами. Среди мышц бедра имело место снижение ЭМГ-стоимости в ТРЕН, незначительно большее, чем в КОНТ. При увеличении угла наклона БД до +12° ЭМГ-стоимость работы мышц голени в обеих группах после гипокинезии была немногим выше исходного уровня. И если ЭМГ-стоимость SOL и GM превышала исходный уровень одинаково в обеих группах, то ЭМГ-стоимость TA была достоверно выше только в КОНТ. Среди мышц бедра достоверные отличия были выявлены в межгрупповых показателях ЭМГ-стоимости RF, которая была существенно выше исходного уровня в КОНТ и значительно ниже в ТРЕН.

При ходьбе с уклоном -12° ЭМГ-стоимость работы мышц в КОНТ после гипокинезии увеличивались только в разгибателях SOL, GM, VL и RF. ЭМГ-стоимость работы сгибателей TA и BF снижалась. В ТРЕН при

ходьбе -12° характер изменений ЭМГ-стоимости работы мышц был схожим с КОНТ: увеличение у разгибателей (достоверное для VL на 9% относительно фона). ЭМГ-стоимость флексора ТА снижалась достоверно на 12 %, BF – на уровне тенденции на 12 % по сравнению с исходным уровнем. При сравнении показателей ЭМГ-стоимости работы мышц между КОНТ и ТРЕН достоверных различий после гипокинезии не выявили. Однако увеличение ЭМГ-стоимости ходьбы при -12° после последовательного воздействия АНОГ и ОГ было более выражено в ТРЕН.

Результаты скоростно-силового тестирования показали, что в обеих группах после гипокинезии происходило снижение максимальной произвольной силы (МПС) мышц-разгибателей КС. В КОНТ снижение показателей МПС было достоверно ниже исходного уровня на угловых скоростях 300, 240 и 120 град/с. Максимальные «силовые потери» обнаружены на угловой скорости 120 град/с (до 13 % относительно фона).

Как показывают полученные результаты, в ТРЕН после гипокинезии существенно «пострадал» низкоскоростной, силовой диапазон разгибания в КС (120 и 60 град/с). При проведении межгруппового сравнения МПС мышц-разгибателей КС было обнаружено, что в КОНТ снижение после гипокинезии было достоверно больше, чем в ТРЕН.

ЭМГ-активность является отражением силовых свойств мышц. В работе мы использовали показатель отношения амплитуды СрЭМГ и МПС. До гипокинезии статистических различий между КОНТ и ТРЕН по показателям «СрЭМГ/момент силы» (ЭМГ/МС) не было выявлено. На высоких угловых скоростях от 300 до 180 град/с ЭМГ/МС VL и RF составлял 1,5–2,2 мкВ/Нм, на низких (120 и 60 град/с) – 0,8–0,9 мкВ/Нм. Для VM до гипокинезии показатель ЭМГ/МС был выше и составил 2,5–3,2 мкВ/Нм на высоких угловых скоростях и 1,8–2,1 мкВ/Нм – на низких. После гипокинезии в КОНТ происходило достоверное увеличение отношения ЭМГ/МС всех исследуемых мышц. В ТРЕН отношение ЭМГ/МС не отличалось от фона.

В настоящем исследовании была предпринята попытка, направленная на изыскание адекватных средств и методов профилактики при моделировании пилотируемого полета на Луну и нахождения на ее поверхности. Одной из задач этого комплексного исследования являлась оценка ФТ на велоэргометре как перспективного средства профилактики функциональных изменений опорно-двигательного аппарата.

Установлено, что применение физических тренировок позволяет нивелировать изменения биомеханических параметров ходьбы. Положительный эффект применения тренировок на велоэргометре на этапе воздействия моделированной лунной гравитации проявлялся в сохранении на исходном уровне скоростно-силовых свойств мышечного аппарата нижних конечностей.

Полученные в работе результаты указывают на необходимость разработки комплексных средств и методов профилактики негативных эффектов последовательного воздействия на организм человека моделированной невесомости и лунной гравитации.

Работа выполнена в рамках Программы Фундаментальных научных исследований РАН (FMFR-2024-0038).

ASSESSMENT OF THE COUNTERMEASURE WITH CYCLING TRAINING WITH SEQUENTIAL IMPACT OF ANTI- AND ORTHOSTATIC HYPOKINESIA BASED ON THE RESULTS OF WALKING ANALYSIS AND FORCE-VELOCITY TESTING

Shpakov A.V.[1, 2], Voronov A.V.[1, 2], Baranov V.M.[1], Baranov M.V.[1], Puchkova A.A.[1], Katuntsev V.P.[1], Voronova A.A.[2], Stavrovskaya D.M.[1], Primachenko G.K.[1]

[1]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Federal Science Center of Physical Culture & Sport (VNIIFK), Moscow, Russia

avshpakov@gmail.com

The aim of the study was to evaluate the effectiveness of physical training (PT) on a bicycle ergometer as a countermeasure under conditions of sequential exposure to anti- (HDBR) and orthostatic hypokinesia (HUBR).

The use of the model of sequential exposure to HDBR and HUBR is due to the following. Transferring the subjects to the HDBR position with an inclination angle of -6° allows simulating the physiological effects of weightlessness during a flight to the Moon. When transferring the subjects to the HUBR with an inclination angle of +9.6°, the physiological effects of lunar gravity are simulated. Thus, using sequentially HDBR and HUBR, it is possible to simulate the physiological effects of a lunar mission.

The study involved 12 subjects (25.7 ± 4.1 years, 75.7 ± 7.8 kg, 179.3 ± 6.2 cm), divided into two equal groups: CONTROL (CONT) and TRAINING (TRAI). The preventive efficiency of PT in hypokinesia conditions was determined based on the results of locomotor and force-velocity testing. The total duration of hypokinesia was

10 days, of which the subjects were in HDBR conditions for the first 3 days, and starting from the 4th day – in HUBR. Starting from the 4th day, the TREN subjects performed daily PT on a bicycle ergometer, being in an orthostatic position. PT was based on the training program on a bicycle ergometer recommended for cosmonauts during long-term space flights.

Before and on the first day after hypokinesia, testing was performed on a treadmill (TM) – walking at a speed of 3.5 km/h with different angles of inclination of the belt: 0°, +12° and -12°. Speed strength testing of the knee joint (KNEE) extensor muscles was performed in isokinetic mode on a dynamometer «BIODEX System 4 Pro» at angular velocities of 300, 240, 180, 120 and 60 degrees/s. During locomotion, EMG-activity of the lower leg and thigh muscles was recorded: mm. vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), biceps femoris (BF), tibialis anterior (TA), gastrocnemius medialis (GM), soleus (SOL). During the speed-strength testing, the EMG activity of the knee extensor muscles VL, VM, m. rectus femoris (RF) was recorded.

The analysis of the kinematic characteristics of walking in the KONT revealed the following changes in the amplitude of angular displacements after hypokinesia: in the KNEE – a decrease in swing phase during walking 0°; in the ankle joint (ANKLE) – a decrease in first peak during walking +12°. At a slope of -12°, the angle in the KNEE and ANKLE during the push-off phase. During swing phase, the amplitude of angular displacements of the KNEE after hypokinesia did not differ from the initial level. In the ANKLE, the swing phase was performed with an increase in flexion, which is most likely due to the need to raise the foot to a height slightly greater than before hypokinesia.

In TRAI, during walking at 0°, no significant changes in the KNEE kinematics were found compared to initial level. An increase in the TM inclination angle to +12° was accompanied by a significant increase in the amplitude of angular movements in ANKLE during push-off phase. During swing phase, KNEE flexion significantly decreased during walking at 0° and +12°. At an inclination of -12°, KNEE extension during push-off phase significantly increased. In the KNEE, the amplitude of angular movements after hypokinesia did not differ from the initial level.

After hypokinesia, changes in the EMG-cost of muscle work during walking at 0° (a decrease in the EMG-cost of TA, an increase in SOL and GM) did not differ between the groups. Among the thigh muscles, there was a decrease in the EMG-cost in TRAI, which was slightly greater than in CONT. With an increase in the TM inclination to +12°, the EMG-cost in both groups after hypokinesia was slightly higher than the initial level. And if the EMG-cost of SOL and GM exceeded the initial level equally in both groups, then the EMG-cost of TA was significantly higher only in CONT. Among the thigh muscles, reliable differences were found in the intergroup indicators of the EMG-cost of RF, which was significantly higher than the initial level in CONT and significantly lower in TRAI.

During walking at an incline of -12°, the EMG-cost in CONT after hypokinesia increased only in the extensors SOL, GM, VL and RF. The EMG-cost of the flexors TA and BF decreased. In TRAI, during walking at -12°, the changes of EMG-cost was similar to CONT: an increase in the extensors (significant for VL by 9% relative to the initial level). The EMG-cost of the TA and BF decreased significantly by 12% compared to the initial level. When comparing the EMG-cost between CONT and TRAI, no significant differences were found after hypokinesia. However, the increase in the EMG-cost of walking at -12° after sequential exposure to HDBR and HUBR was more pronounced in TREN.

The results of the force-velocity testing showed that in both groups after hypokinesia there was a decrease in the force of maximum voluntary contraction (MVC) of the knee extensor. In the CONT, the decrease in the MVC was significantly lower than the initial level at angular velocities of 300, 240 and 120 deg/s. The maximum «strength losses» were detected at an angular velocity of 120 deg/s (up to 13% relative to the initial level).

As the obtained results show, in TREN after hypokinesia the force range of extension in the KNEE (120 and 60 deg/s) was significantly "suffered". During the intergroup comparison of the MVC of the KNEE extensors it was found that in CONT the decrease after hypokinesia was significantly greater than in TRAI.

EMG-activity reflects the strength properties of muscles. In our work, we used the ratio of the amplitude of the sEMG and MVC. Before hypokinesia, no statistical differences were found between CONT and TRAI in the sEMG/ torque of force (EMG/MVC). At high angular velocities from 300 to 180 deg/s, the EMG/ MVC of VL and RF was 1.5–2.2 μV/Nm, and at low ones (120 and 60 deg/s) – 0.8–0.9 μV/Nm. For VM, before hypokinesia, the EMG/ MVC index was higher and was 2.5–3.2 μV/Nm at high angular velocities and 1.8–2.1 μV/Nm at low ones. After hypokinesia, there was a reliable increase in the EMG/MVC ratio of all the studied muscles in CONT. In TRAI, the EMG/MMC ratio did not differ from initial level.

In this study, an attempt was made to find adequate means and methods of countermeasure during simulating a manned flight to the Moon and staying on its surface. One of the objectives of this comprehensive study was to evaluate PT on a bicycle ergometer as a promising means of countermeasure functional changes in the musculoskeletal system.

It has been established that the use of PT allows to level out changes in the biomechanical parameters of walking. The positive effect of using PT on a bicycle ergometer at the stage of exposure to simulated lunar gravity was manifested in maintaining the force-velocity properties of the leg muscles at the initial level.

The work was supported by the FSRP of the RAS (FMFR-2024-0038).

ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАКТИВАЦИИ ВНУТРИКЛЕТОЧНЫХ ЛАТЕНТНЫХ ПАТОГЕНОВ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ 240-СУТОЧНОГО ИЗОЛЯЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА SIRIUS-2021

Шульгина С.М., Шмаров В.А., Кутько О.В., Рыкова М.П., Пономарёв С.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

sofiya.kayunova@mail.ru

Комплекс факторов космического полета (КП) оказывает существенное влияние на состояние здоровья человека, в том числе, на его иммунную систему, приводя к нарушению работы различных ее звеньев. При этом по сравнению с полетами малой длительности в ходе долгосрочных КП отмечаются более глубокие перестройки в системе иммунитета, сохраняющиеся в течение продолжительного периода после приземления. Важным следствие иммунного дисбаланса в ходе КП является повышение риска реактивации латентных патогенов вследствие снижения иммунологического контроля. В то время как реактивация латентных патогенов вирусной природы в условиях КП и наземных экспериментов изучена достаточно подробно, почти нет работа, направленных на исследование влияния неблагоприятных факторов среды обитания на реактивацию бактериальных патогенов и развитие микст-инфекционного процесса.

Преимущественно реактивация латентных патогенов в условиях КП и наземных экспериментов носит субклинический характер, однако в длительных полетах и в ходе антарктических зимовок были зарегистрированы случаи появления клинических симптомов заболеваний. Интересно, однако, что наибольшее количество таких случаев произошло на ранних этапах КП, что свидетельствует о значительном влиянии периода ранней адаптации на реактивацию герпесвирусов.

Целью данной работы было изучить влияния комплекса факторов, ассоциированных с 240-суточным пребыванием человека в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания, на реактивацию латентных патогенов человека вирусной и бактериальной природы.

В рамках данной работы были исследованы образцы крови, мочи и слюны 5 добровольцев – участников 240-суточного изоляционного эксперимента SIRIUS-2021. В биообразцах методом полимеразной цепной реакции в реальном времени была исследована динамика изменения уровня ДНК семи герпесвирусов, а также латентных бактерий Mycoplasma hominis, Ureaplasma urealiticum и Chlamydia trachomatis. Метод иммуноферментного анализа позволил оценить титры специфических антител к исследуемым латентным патогенам в сыворотке крови.

Кроме того, в данной работе были проанализированы корреляционные взаимосвязи уровня ДНК латентных патогенов в биологических жидкостях с изученными в нашей лаборатории показателями врожденного и адаптивного иммунитета, а также цитокинами и гормонами стресса, что впервые позволило выявить взаимосвязи между динамикой литического цикла латентных патогенов и эффекторами иммунной системы в условиях изоляции.

Согласно полученным результатам, уже на этапе пред-изоляционной подготовки в слюне некоторых испытателей наблюдается высокое содержание ДНК вируса герпеса человека 6 типа (ВГЧ-6) и вируса Эпштейна-Барр (ВЭБ). Следует отметить, что аналогичные результаты ранее были показаны в предполетный период при изучении биологических жидкостей космонавтов на предмет содержания ДНК латентных герпесвирусов. Полученные результаты представляются вполне логичными, поскольку как предстартовый период подготовки космонавтов, так и пред-изоляционная подготовка испытателей характеризуются высоким уровнем психоэмоциональной напряженности и утомлением, что существенно влияет на протективные возможности иммунной системы.

Кроме того, в слюне 3-го из 5-го испытуемых инициация реактивации ВГЧ-6 произошла в течение первого месяца пребывания в гермообъекте, причем у 2 из них – уже на 7-е сутки эксперимента. Еще у 1 из участников инициация реактивации пришлась на середину пребывания в условиях изоляции. Важно отметить, что для всех 5 участников эксперимента характерно значительное колебание уровня вирусной ДНК в слюне, при этом у 2 участников в ходе эксперимента наблюдалась трехфазовая инициация реактивации ВГЧ-6, пики которой пришлись соответственно на первый месяц, середину и завершающий этап изоляции. Такая динамика содержания вирусной ДНК в слюне на фоне высоких титров специфических антител может свидетельствовать о сохранении общей функциональной активности иммунной системы в ходе эксперимента на фоне периодов иммуносупрессии, вызванных в первую очередь этапом ранней адаптации и истощением резервных возможностей организма на завершающих этапах изоляции. При этом была выявлена всего 1 достоверная корреляция уровня ДНК ВГЧ-6 в слюне с относительным количеством Т-лимфоцитов в середине эксперимента.

Также стоит отметить, что в слюне всех участников была обнаружена ДНК ВЭБ на фоне стабильно высокого уровня специфических антител хотя бы на одном из этапов эксперимента. При этом у 2 из 5 участников инициация реактивации ВЭБ, как и в случае ВГЧ-6, пришлась на период ранней адаптации к условиям гермообъекта, а еще у 1 – на середину эксперимента. Кроме того, у 2 испытуемых, у которых ДНК ВЭБ была выявлена еще в фоне, на данный период также пришлись пики содержания вирусной ДНК в слюне. Строит отметить, что корреляционные взаимодействия уровня ДНК ВЭБ в слюне были выявлены с эффекторами именно адаптивного иммунитета.

Также в рамках эксперимента у 2 участников была выявлена ДНК вируса простого герпеса 1-го и 2-го типа (ВПГ-1/2) на 7-е и 127-е, а также 240-е сутки соответственно на фоне снижения титров антител к ВПГ-1.

Однако наиболее интересным результатом явилось обнаружение субклинической реактивации бактериального патогена Ureaplasma urealiticum у одного из участников эксперимента. При этом первичное обнаружение бактериальной ДНК пришлось на 7-е сутки изоляции – период ранней адаптации. Повторное проявление ДНК патогена слюне пришлось на середину эксперимента и на 7-е сутки после его завершения. Полученные данные представляют существенный интерес, поскольку ранее реактивация латентных бактериальных патогенов человека в условиях изоляционных экспериментов показана не была.

Таким образом, полученные данные позволяют сделать вывод о том, что комплекс факторов, ассоциированных с пребыванием человека в условиях гермообъекта с искусственной средой обитания, может способствовать ослаблению иммунологического контроля латентных инфекций и приводить к субклинической реактивации патогенов не только вирусной, но и бактериальной природы. При этом наиболее значимые изменения в динамике уровня ДНК латентных патогенов отмечаются в период ранней адаптации к условиям изоляции. Кроме того, наблюдаемые случаи субклинической реактивации на фоне изменения эффекторов иммунной системы в условиях гермообъекта указывают на существенный риск развития микст-латентного инфекционного процесса, что представляет опасность как для испытуемых в наземных изоляционных экспериментах, так и для членов экипажа в КП.

Работа выполнена в рамках базовой тематики ГНЦ РФ-ИМБП РАН FMFR-2024-0039.

IMMUNOLOGICAL ASPECTS OF REACTIVATION OF LATENT INTRACELLULAR HUMAN PATHOGENS DURING THE 240-DAY ISOLATION EXPERIMENT SIRIUS-2021

Shulgina S.M., Shmarov V.A., Kutko O.V., Rykova M.P., Ponomarev S.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

sofiya.kayunova@mail.ru

Space flight (SF) factors have a significant impact on human health, including the immune system, leading to disruption of its various links. At the same time, compared to short-duration flights, during long-term SF, deeper changes in the immune system are observed, which persist for a long period after landing. Immune imbalance during SF can lead to an increased risk of latent pathogen reactivation due to a decrease in immunological control.

The reactivation of latent viral pathogens in SF and ground-based experiments has been studied in sufficient detail. However studies are scarce on the effect of unfavorable environmental factors on the reactivation of bacterial pathogens and the development of a mixed infection process.

Latent pathogens can be reactivated during SF or ground-based experiments, but it is most commonly subclinical in nature, with cases of clinical symptoms of diseases being noted during long flights and Antarctic wintering. It is interesting, however, that the greatest number of such cases occurred in the early stages of SF, which indicates a significant influence of the early adaptation period on the reactivation of herpesviruses.

The purpose of this research was to evaluate the effects of a group of factors associated with a 240-day isolation of volunteers in a hermoobject with an artificial habitat on the reactivation of latent human viral and bacterial pathogens. In this work, we looked at blood, urine, and saliva samples from 5 volunteers who took part in the 240-day isolation experiment 'SIRIUS-2021'. Real-time polymerase chain reaction was utilized to study the DNA level changes of 7 herpesviruses, Mycoplasma hominis, Ureaplasma urealiticum and Chlamydia trachomatis. The ELISA allowed for evaluating the concentrations of specific antibodies to the investigated latent pathogens in the blood serum.

Furthermore, this study examined the correlations between the level of DNA of latent pathogens in biological fluids and the innate and adaptive immunity parameters studied in our laboratory, as well as cytokines and stress

hormones. The relationship between the dynamics of the lytic cycle of latent pathogens and the effectors of the immune system under isolation conditions has been identified for the first time.

According to the obtained results, even at the stage of pre-isolation period, a high content of DNA of human herpes virus type 6 (HHV-6) and Epstein-Barr virus (EBV) is observed in the saliva of some subjects. Moreover, similar results were previously shown in the pre-flight period when studying the biological fluids of cosmonauts for the content of DNA of latent herpes viruses. The obtained results seem quite logical, since both the pre-launch period of cosmonaut training and the pre-isolation training of test subjects are characterized by a high level of psycho-emotional stress and fatigue, which significantly affects the protective capabilities of the immune system.

Moreover, 3 out of 5 patients reported an initiation of HHV-6 reactivation in their saliva during the first month of isolation. In 2 of them, the reactivation occurred already on the 7th day of the experiment. In another 1 participant, reactivation initiation occurred in the middle of isolation. It is important to note that all 5 participants in the experiment exhibit significant fluctuations in the level of viral DNA in their saliva. Two participants observed the initiation of HHV-6 reactivation in three stages during the experiment, with the highest peaks occurring in the first month, middle, and final stage of isolation. The dynamics of viral DNA content in saliva against high titers of specific antibodies may indicate the preservation of general functional activity of the immune system during the experiment during periods of immunosuppression. Early adaptation and depletion of the body's reserve capacity during the final stages of isolation may be the main cause of it. However, only 1 reliable correlation was found between the level of HHV-6 DNA in saliva and the relative number of T-lymphocytes in the middle of the experiment.

It is also worth noting that EBV DNA was detected in the saliva of all participants against the background of a consistently high level of specific antibodies at least at one stage of the experiment. At the same time, in 2 of the 5 participants, the initiation of EBV reactivation, as in the case of HHV-6, occurred during the period of early adaptation to the conditions of the hermetic object, and in another 1 - in the middle of the experiment. In addition, in 2 subjects, where EBV DNA was detected before isolation, the peak of viral DNA content in saliva also occurred during this period. It should be noted that correlation interactions between EBV DNA levels in saliva and the effectors of adaptive immunity were discovered.

Also, as part of the experiment, DNA of the herpes simplex virus types 1 and 2 (HSV-1/2) was detected in 2 participants on days 7, 127, and 240, respectively, against the background of a decrease in titers of antibodies to HSV-1.

The detection of subclinical reactivation of Ureaplasma urealiticum in one of the participants in the experiment was the most intriguing outcome. The initial detection of bacterial DNA occurred on the 7th day of isolation, the early adaptation period. The repeated manifestation of the pathogen DNA in saliva occurred in the middle of the experiment and on the 7th day after its completion. The data obtained is of great significance because the reactivation of latent human bacterial pathogens in isolation experiments has not been demonstrated before.

The data we have obtained suggests that the complex factors associated with human presence in a hermoobject with artificial habitat can lead to a weakening of immunological control of latent infections and lead to subclinical reactivation of not only viral but also bacterial pathogens. At the same time, the most significant changes in the dynamics of the DNA level of latent pathogens are noted during the period of early adaptation to isolation conditions. In addition, the observed cases of subclinical reactivation against the background of changes in the effectors of the immune system in the hermoobject indicate a significant risk of developing a mixed-latent infectious process, which poses a danger both to subjects in ground-based isolation experiments and to crew members in the SF.

The work was carried out within the framework of the basic theme of IBMP RAS FMFR-2024-0039.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО МОНИТОРИНГУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОДЕЖДЫ, БЕЛЬЯ И СРЕДСТВ ЛИЧНОЙ ГИГИЕНЫ В УСЛОВИЯХ ГОДОВОГО ИЗОЛЯЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ПРОЕКТУ SIRIUS

Шумилина И.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

ishumilina@mail.ru

В ходе реализации годового изоляционного эксперимента в рамках проекта SIRIUS мы продолжаем исследование мониторинга использования одежды, нижнего белья и средств личной гигиены, начатые в предыдущих изоляционных экспериментах и в условиях 17-суточного, 120-суточного и 240-суточного изоляционных экспериментов.

Стирка белья, одежды в условиях космического полета в настоящее время не предусмотрены. Новая одежда, белье и средства личной гигиены (салфетки, полотенца для личной гигиены и т. д.) доставляются на космические корабли и орбитальные станции с Земли, а затем, после кратковременного использования, выбрасываются в сборник отходов, где они накапливаются в значительных количествах и массах.

Мониторинг потребления одежды и белья, их смены, средств личной гигиены (СЛГ), санитарно-гигиенических мероприятий и оценка СЛГ осуществлялись на разных по длительности этапах проекта SIRIUS. Исследование проводилось для оценки, сравнения объемов и весов, одежды, белья и СЛГ и получения исходных данных для возможной выработки нормативов по одежде, белью, СЛГ и по санитарно-гигиеническим процедурам для межпланетарных космических полетов.

В условиях годового изоляционного эксперимента п проекту SIRIUS проводилось анкетирование операторов с использованием двух видов анкет. Анкета № 1 была посвящена мониторингу использования одежды и белья, санитарно-гигиенических мероприятий по обработке одежды, белья. Анкета № 2 касалась оценки средств личной гигиены, видов санитарно-гигиенических процедур личной гигиены, частоты их осуществления и пр. Анкеты № 1 заполнялись операторами один раз в неделю. Анкеты №2 заполнялись всеми операторами, находящимися в изоляции, в конце этапов изоляции. Заполненные анкеты передавались онлайн по FTP-протоколу.

В результате, за год было сформировано 53 папки с более, чем 300 заполненными операторами анкетами: 52 папки с анкетами № 1 и одна папка с Анкетами № 2.

Сравнение полученных результатов мониторинга потребления белья и одежды, их смены, СЛГ и санитарно-гигиенических мероприятиям, оценка СЛГ в условиях 17-суточной и 120-суточной, 240-суточной изоляции и годовом эксперименте позволит получить данные, которые будут способствовать созданию оптимальных санитарно-гигиенических условий для изоляции в герметично замкнутых объектах, пилотируемых космических летательных аппаратах, сохранить здоровье, работоспособность экипажей.

Данные исследования позволяют получить реальные исходные данные об объемах, весах, требованиях и замечаниях членов экипажей изоляционных экспериментов для разработки санитарно-гигиенических нормативов и создания систем жизнеобеспечения (СЖО) для межпланетных пилотируемых космических полетов, станций на Луне, Марсе.

Базовая тематика.

STUDIES ON MONITORING THE USE OF CLOTHES, UNDERWEAR AND PERSONAL HYGIENE MEANS UNDER THE CONDITIONS OF A YEAR-LONG ISOLATION EXPERIMENT UNDER THE SIRIUS PROJECT

Shumilina I.V.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ishumilina@mail.ru

During the implementation of a year-long isolation experiment within the framework of the SIRIUS project, we continue the study of monitoring the use of clothes, underwear and Personal Hygiene Means, begun in previous isolation experiments and in the conditions of 17-day, 120-day and 240-day isolation experiments.

Washing of clothes and underwear during space flight conditions is currently not provided. New clothes and underwear and Personal Hygiene Means (napkins, towels for personal hygiene, etc.) are delivered to spaceships and orbital stations from Earth, and then, after short-term use, are thrown into a waste collection facility, where they accumulate in significant quantities and masses.

Monitoring of the use and change of clothes, underwear their change, Personal Hygiene Means (PHM) the and assessment of PHM were carried out at different stages of the SIRIUS project. The study was carried out to evaluate and compare the volumes and weights of clothes, underwear and PHM and to obtain initial data for the possible development of standards for clothes, underwear and PHM and sanitary and hygienic procedures for interplanetary space flights.

Two types of questionnaires were used for under the conditions of a year-long isolation experiment. Questionnaire No. 1 was devoted to monitoring the use of clothes and underwear, sanitary and hygienic measures for the processing of clothes, underwear. Questionnaire No. 2 concerned the evaluation of PHM, types of sanitary and hygienic procedures of personal hygiene, the frequency of their implementation, etc. Questionnaires No. 1 were filled out by the test subjects once a week. Questionnaires No. 2 were completed by all test subjects in

isolation at the end of the isolation stages. Completed questionnaires were transmitted online via FTP protocol.

As a result, over the course of the year, 53 folders were created with more than 300 questionnaires filled out by operators: 52 folders with questionnaires No. 1 and one folder with Questionnaires No. 2.

Comparison of the obtained results of monitoring the use of clothes and underwear, their change, PHM, sanitary and hygienic measures and the assessment of PHM in conditions of 17-day and 120-day, 240-day isolation and the year-long experiment allows us to obtain data that contribute to the creation of optimal sanitary and hygienic conditions for isolation in hermetically closed objects.

The objectives of the study make it possible to obtain real initial data on volumes, weights, requirements and comments from crew members of isolation experiments for the development of sanitary and hygienic standards and the creation of Life Support Systems (LSS) for interplanetary manned space flights, stations on the Moon, the Mars.

Basic topics.

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И МАССЫ ОТХОДОВ ИЗ ГОДОВОГО ИЗОЛЯЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В РАМКАХ ПРОЕКТА SIRIUS

Шумилина И.В.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

ishumilina@mail.ru

В ходе реализации годового изоляционного эксперимента в рамках проекта SIRIUS нами проводилось исследование состава и массы отходов, которые отшлюзовывались экипажем. В течение месяца мы регулярно забирали мешки с мусором от экипажа, разбирали, взвешивали мусор и его составляющие, изучали состав мусора.

Проект SIRIUS (англ. Scientific International Research in Unique Terrestrial Station) – международный исследовательский проект, в котором изучаются вопросы медико-биологического и психологического обеспечения длительных пилотируемых космических полетов.

Космические отходы – это отходы от членов экипажей и космической жизнедеятельности. Отходы могут накапливаться в больших количествах, портятся и если не заниматься отходами, то отходы могут помешать выполнению космических миссий. Поэтому изучение состава и массы отходов с точки зрения поиска путей их эффективного хранения, консервации, утилизации, транспортирования и систем регенерации является актуальным.

Мы разделяли содержимое мешков с мусором на пять фракций, которые в процентном соотношении в мусоре в среднем составляли:

1) Железо, фольга, стекло (36 %) – железные банки, фольгированная упаковка от соков, каш, супов, чая, кофе, фольгированные куски от упаковки и пр.

2) Санитарно-гигиенические отходы (28 %) – куски использованных бумажных полотенец, салфеток, использованные ватные диски, салфетки из нетканки, ватные палочки, женские прокладки, тампоны, зубные нити и пр.

3) Остатки еды (14 %) – огрызки от яблок, недоеденная еда, крошки от печенья использованные чайные пакетики.

4) Бумага, картон (16 %) – картонная коробки, картон от упаковок, бумага и пр.

5) Целлофан, пластик (6 %) – целлофановая упаковка, пластик, конверты от ежедневных женских гигиенических прокладок, тампонов пр.

Санитарно-гигиенические отходы собирались нами отдельно в рамках исследования по эксперименту Mcb-1 научной программы проекта SIRIUS для их последующей стерилизации, возможной биодеградации.

В ходе исследования мы оценили состав, количество и качество мусора, отходов годового эксперимента проекта SIRIUS, что может быть полезно для создания систем жизнеобеспечения, регенерации и утилизации отходов межпланетарных пилотируемых космических полетов и создания станций на Луне, Марсе и пр.

Базовая тематика.

STUDY OF THE COMPOSITION AND MASS OF WASTE FROM THE YEAR-LONG ISOLATION EXPERIMENT WITHIN THE FRAMEWORK OF THE SIRIUS PROJECT

Shumilina I.V.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ishumilina@mail.ru

During the implementation of the year-long isolation experiment within the framework of the SIRIUS project, we conducted a study of the composition and mass of the waste from the crew. Over the course of a month, we regularly collected bags of garbage from the crew, disassembled them, weighed the garbage and its components, and studied the composition of the garbage.

The SIRIUS project (Scientific International Research in Unique Terrestrial Station) - is an international research project that studies the issues of medical, biological and psychological support for long-term manned flights.

Space waste is waste from crew members and space activities. Waste can accumulate in large quantities, deteriorate, and if waste is not dealt with, the waste can interfere with space missions. Therefore, studying the composition and mass of waste is relevant from the point of view of finding ways for their effective storage, conservation, disposal, transportation and regeneration systems.

We divided the contents of garbage bags into five fractions, which, as a percentage of the garbage, averaged:

1) Iron, foil, glass (36 %) – iron cans, foil bags out of juices, cereals, soups, tea, coffee, foil pieces from packaging, etc.

2) Sanitary and hygienic waste (28 %) – pieces of used paper towels, napkins, used cotton pads, non-woven napkins, cotton swabs, sanitary pads, tampons, dental floss, etc.

3) Food waste (14 %) – apple cores, half-eaten food, cookie crumbs, used tea bags.

4) Paper, cardboard (16 %) – cardboard boxes, cardboard from packaging, paper, etc.

5) Cellophane, plastic (6 %) – cellophane packaging, plastic, envelopes from daily feminine sanitary pads, tampons, etc.

We specially selected sanitary waste separately as part of the study of the Mcb-1 experiment of the scientific program of the SIRIUS project and collected sanitary waste for their subsequent sterilization and possible biodegradation.

We assessed the composition, quantity and quality of garbage, waste from the year-long isolation experiment of the SIRIUS project during the study, which can be useful for creating Life Support Systems (LSS), regeneration systems and disposal of waste systems for interplanetary manned space flights and creating stations on the Moon, Mars, etc.

Basic topics.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ КОМПОНЕНТОВ КЛЕТОЧНОЙ МЕХАНОТРАНСДУКЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТРАНСЛОКАЦИЮ ТРАНСКРИПЦИОННОГО ФАКТОРА RUNX2 ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭФФЕКТОВ МИКРОГРАВИТАЦИИ НА ММСК IN VITRO

Якубец Д.А., Буравкова Л.Б.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

lizard_96@mail.ru

Мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки (ММСК) – одна из популяций прогениторных клеток взрослого организма, которые вовлечены в поддержание гомеостаза и возобновление различных тканей, в том числе костной, что делает их важным объектом исследования космической биологии. Существуют данные, что в условиях реальной и моделированной микрогравитации снижается способность ММСК к дифференцировке в остеогенном направлении, что может быть одним из факторов, способствующих развитию остеопении, индуцированной гравитационной разгрузкой, однако механизмы данного явления слабо изучены. На данный момент существует предположение, что механический сигнал может передаваться от внеклеточного матрикса в ядро клетки через механопроводящие структуры: от поверхности клеток через рецепторы, представленные интегринами и другими молекулами адгезии, компоненты

цитоскелета в цитозоле, комплекс LINC, соединяющий цитоскелет и ядро, и нуклеоскелет, являющийся ядерным каркасом, который представлен ламиновыми филаментами. Он может напрямую взаимодействовать с хроматином и, потенциально, изменять его доступность для факторов транскрипции. Кроме того, комплекс LINC ассоциирован с ядерными поровыми комплексами, и способствуют транслокации различных молекул, в частности, транскрипционных факторов внутрь ядра. Поэтому экспонирование клеток в условиях микрогравитации может привести к изменениям пространственного распределения и содержания компонентов клеточной механотрансдукции, что может повлечь за собой перестроение клеточного сигналинга под новые условия. Таким образом, целью данной работы было описание изменений, происходящих с элементами клеточной механотрансдукции, и их возможное влияние на транслокацию транскрипционного фактора RUNX2 в ядро ММСК.

Моделирование эффектов микрогравитации осуществляли с помощью 3D-клиностата Gravite® (Space Bio-Laboratories Co., Ltd., Япония). В качестве контроля использовали клетки, находящиеся в термостате в статических условиях. С помощью конфокального микроскопа Zeiss LSM-900 получали изображения клеток с меченными флуоресцентными метками молекулами паксиллина – белка клеточной адгезии; актина, тубулина, виментина, как представителей трех типов волокон цитоскелета; элементов комплекса LINC – Несприна-1 и Несприна-3, внешних компонентов комплекса, связывающих актиновые и промежуточные филаменты соответственно, белка SUN-1, внутриядерного компонента комплекса, связанного с неспринами и нуклеоскелетом, а также Ламина A/C – важного компонента нуклеоскелета ММСК. Также проводили мечение флуоресцентной меткой транскрипционного фактора RUNX2. Анализ изображений проводили с помощью программ CellProfiler, Cellpose и ImageJ. В ходе анализа получали морфометрические параметры клеток и ядер (площадь, периметр, вытянутость (эксцентриситет), форм-фактор), параметры флуоресценции (средняя интенсивность флуоресценции, характеризующая содержание белка, смещение окраски относительно центра клетки), расчетные параметры (ядерно-цитоплазматическое соотношение средней интенсивности флуоресценции метки транскрипционного фактора). Всего проанализировали более 20 000 клеток.

Было обнаружено снижение общего содержания RUNX2 в ММСК на всех сроках экспозиции, с минимумом к 72 часам экспозиции – всего 43 % от значения контроля и последующей тенденцией к увеличению его содержания до 85 % относительно статического контроля к 120 часам экспозиции). При этом, ядерно-цитоплазматическое соотношение транскрипционного фактора в условиях микрогравитации в среднем составляла 153 % значения статического контроля на первые сутки экспозиции, к третьим суткам снижалось до 75 %, и к 120 часам экспозиции снова повышалось до 120 %. Такие изменения транслокации, вероятно, носят компенсаторный характер. При этом наблюдалось повышение представленности паксиллина на клетках до 124 % и последующее стабильное снижение до 76 % к пятым суткам экспозиции. Концентация актина была ниже статического контроля на протяжении 72 часов экспозиции, однако к 120 часам превышала его в 1,5 раза. У Несприна-1 наблюдалась обратная динамика: пик его содержания в клетках пришелся на третьи сутки экспозиции и почти в 2 раза превышал контрольные значения, однако к пятым суткам его концентрация снижалась до 54 % относительно контроля. Содержание тубулина было стабильно ниже контроля, и составляло 76 % начиная с 72 часов экспозиции. Динамика содержания Виментина и Несприна-3 была схожей: их концентрация составляла всего 60 % от контрольных значений, начиная с 72 часов моделирования микрогравитации. Содержание белка SUN1 в ядрах клеток было снижено на всех сроках экспозиции, с минимумом к 72 часам: 51 % от контрольного значения. Содержание Ламина A/C снижалось до 66% в первые сутки экспозиции, однако к третьим суткам не отличалось от контроля. Затем, с помощью регрессионного анализа выявлено, что с высокой вероятностью ($p < 0,0001$) на значение ядерно-цитоплазматического соотношения RUNX2 влияют содержание актина в околоядерной области, пространственное распределение транскрипционного фактора в околоядерной области, общее содержание в клетки белков Несприна-1, SUN1, Ламина A/C, и Виментина, а также количество точек фокальных адгезий в клетке. По результатам данного анализа можно сделать вывод, что транслокация транскрипционного фактора RUNX2 в ядро зависит как от содержания и распределения в клетке звеньев механотрансдукции от поверхности клеток до клеточного ядра, и от их баланса между собой.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ - ИМБП РАН, проект FMFR-2024-0032.

DYNAMICS OF CELLULAR MECHANOTRANSDUCTION COMPONENTS ALTERATIONS AND THEIR IMPACT ON RUNX2 TRANSCRIPTION FACTOR TRANSLOCATION UNDER SIMULATED MICROGRAVITY IN MESENCHYMAL STEM CELLS IN VITRO

Yakubets D.A., Buravkova L.B.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

lizard_96@mail.ru

Multipotent mesenchymal stromal cells (MSCs) are the population of adult progenitor cells involved in maintaining homeostasis and regeneration of various tissues, including bone tissue, which makes them an important subject in space biology research. Evidence suggests that both real and simulated microgravity reduce the osteogenic differentiation potential of MSCs, which may be one of the contributing factors to the development of osteopenia induced by gravitational unloading. However, the mechanisms underlying this phenomenon remain poorly understood. It is currently hypothesized that mechanical signals can be transmitted from the extracellular matrix to the cell nucleus through mechanotransductive structures: from the cell surface via receptors such as integrins and other adhesion molecules, through cytoskeletal components in the cytosol, then via the LINC complex which is connecting the cytoskeleton to the nucleus, and through the nucleoskeleton — the nuclear scaffold represented by lamin filaments. The nucleoskeleton can directly interact with chromatin, potentially altering its accessibility to transcription factors. Moreover, the LINC complex is associated with nuclear pore complexes and facilitates the translocation of various molecules, including transcription factors, into the nucleus. Therefore, cell exposure to microgravity conditions may lead to changes in the spatial distribution and content of cellular mechanotransduction components, potentially resulting in the reorganization of cellular signaling to adapt to the new environment.

The aim of this study was to describe changes in the components of cellular mechanotransduction and their possible impact on the nuclear translocation of the transcription factor RUNX2 in MSCs.

The 3D clinostat Gravite® (Space Bio-Laboratories Co., Ltd., Japan) was used for microgravity simulation. Cells maintained in a thermostat under static conditions served as controls. Confocal microscopy (Zeiss LSM-900) was used to obtain images of cells labeled with fluorescent markers for paxillin - a focal adhesion protein, actin, tubulin, vimentin (representatives of the three main cytoskeletal filament types), LINC complex components – Nesprin-1 and Nesprin-3 which are the outer components that binding actin and intermediate filaments, respectively, SUN-1 - an inner nuclear membrane protein interacting with nesprins and the nucleoskeleton, and Lamin A/C – a key nucleoskeletal protein), Fluorescent labeling of the RUNX2 transcription factor was also performed. Image analysis was performed using CellProfiler, Cellpose, and ImageJ. The following parameters were obtained: morphometric parameters – cell and nuclear area, perimeter, elongation (eccentricity), and form factor, fluorescence parameters – mean fluorescence intensity (protein abundance) and displacement of the staining signal relative to the cell center, and computed parameters – nuclear-to-cytoplasmic ratio of mean RUNX2 fluorescence intensity. In total, more than 20,000 cells were analyzed.

A decrease in total RUNX2 content in MSCs was observed at all exposure times, with a minimum at 72 h (43 % of control), followed by a recovery trend to 85 % of control at 120 h. The nuclear-to-cytoplasmic ratio of RUNX2 was, on average, 153 % of control after 24 h of exposure, dropped to 75 % by 72 h, and increased again to 120 % by 120 h, suggesting compensatory regulation of translocation. Paxillin abundance increased to 124 % of control initially, then decreased steadily to 76 % by day 5. Actin content remained below control for 72 h but exceeded control levels by 1.5-fold at 120 h. Nesprin-1 showed the opposite trend: peaking at 200 % of control on day 3, followed by a decline to 54 % at day 5. Tubulin levels were consistently lower, stabilizing at 76% of control from 72 h onward. Vimentin and Nesprin-3 exhibited similar patterns, with concentrations at 60 % of control from 72 h onward. SUN-1 levels were reduced at all time points, reaching a minimum of 51 % of control at 72 h. Lamin A/C content decreased to 66 % on day 1 but returned to control levels by day 3. Regression analysis ($p < 0.0001$) revealed that RUNX2 nuclear-to-cytoplasmic ratio was significantly influenced by perinuclear actin content, spatial distribution of RUNX2 in the perinuclear region, total cellular levels of Nesprin-1, SUN-1, Lamin A/C, and vimentin and number of focal adhesion sites per cell. These findings suggest that RUNX2 nuclear translocation in MSCs depends not only on the abundance and spatial organization of mechanotransduction elements from the cell surface to the nucleus, but also on their coordinated balance.

The work was carried out within the framework of the Fundamental Research Program of the Russian Federation Scientific Center - Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, project FMFR-2024-0032.

EVALUATION OF THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM BY MONITORING FOREHEAD SKIN MICROCIRCULATION DURING COGNITIVE TESTING IN THE SIRIUS ONE-YEAR MISSION

Çotuk H.B.[1], Ganicheva A.[2], Fomina E.[2]

[1]Marmara University, Department of Sport Health Sciences, Istanbul, Türkiye
[2]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

annaganicheva16@gmail.com, hbcotuk@marmara.edu.tr

Aim. The objective of the study was to monitor autonomic nervous system (ANS) function by using photophletysmography (PPG) recordings of the forehead skin microcirculation during the SIRIUS one-year mission. The alterations associated with cognitive load and prior exercise were the particular focus of the investigation. The analysis concentrated primarily on fluctuations in blood content within the intermediate frequency range, as these fluctuations are regarded as biomarkers for interoception.

Methods. The six participants were subjected repeatedly to a battery of cognitive tests after physical exercise. Prior to the exercise, and following the exercise during cognitive testing, the skin microcirculation of the forehead was continuously monitored by PPG using the MAXREFDES106® device. Skin blood content fluctuations were recorded at 100 Hz from which the following parameters were calculated by continuous wavelet transform (CWT): Pulse rate (PR), pulse rate variability (PRV), and the power of low frequency (0.04–0.12 Hz), intermediate frequency (0.12–0.18 Hz), and high frequency (0.18–0.4 Hz) vasomotor rhythms. The CWT power of the frequency bands was subjected to min-max normalization, with a scale ranging from 0 to 1. The values at the beginning and end of the isolation period were subjected to a non-parametric Wilcoxon rank test, with a statistical significance level of $p < 0.05$.

Results. The power of the intermediate rhythm (IMR) at the start of the mission decreased during the cognitive testing (median 0.409, range 0.264–0.713) compared to the prior rest period (median 0.493, range 0.393–0.669). A similar result was obtained at the end of the mission; during the cognitive testing IMR power (median 0.423, range 0.187–0.702) was lower than the prior rest period (median 0.481, range 0.295-0.595). The differences were all not significant ($p > 0.05$).

Conclusion. The attenuation of the intermediate rhythm indicates a reduction in interoceptive awareness during cognitive testing following exercise. The shift to the dominance of low-frequency rhythms in the microcirculation is presumed to be due to the combined effect of mental load and physical fatigue.

ОЦЕНКА ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПУТЕМ МОНИТОРИНГА МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КОЖИ ЛБА ВО ВРЕМЯ КОГНИТИВНЫХ ТЕСТОВ В ХОДЕ ГОДИЧНОЙ МИССИИ SIRIUS

Çotuk H.B.[1], Ганичева А.[2], Фомина Е.[2]

[1]Университет Мармара, кафедра спортивно-оздоровительных наук, Стамбул, Турция
[2]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

annaganicheva16@gmail.com, hbcotuk@marmara.edu.tr

Цель. Целью исследования было наблюдение за функцией вегетативной нервной системы (ВНС) с помощью фотофлетизмографии (ФФГ) микроциркуляции кожи лба во время годичной миссии «Сириус». Особое внимание в исследовании уделялось изменениям, связанным с когнитивной нагрузкой и предшествующими физическими нагрузками. Анализ был сосредоточен в основном на колебаниях содержания крови в промежуточном частотном диапазоне, поскольку эти колебания считаются биомаркерами интерцепции.

Методы. Шесть участников неоднократно проходили серию когнитивных тестов после физических упражнений. До начала упражнений и после них во время когнитивных тестов микроциркуляция кожи лба непрерывно контролировалась с помощью PPG с использованием устройства MAXREFDES106®. Колебания содержания крови в коже регистрировались с частотой 100 Гц, на основе чего с помощью непрерывного вейвлет-преобразования (CWT) были рассчитаны следующие параметры: частота пульса (PR), вариабельность частоты пульса (PRV) и мощность низкочастотных (0,04–0,12 Гц), среднечастотных (0,12–0,18 Гц) и высокочастотных (0,18–0,4 Гц) вазомоторных ритмов. Мощность CWT частотных диапазонов подвергалась минимально-максимальной нормализации с масштабом от 0 до 1. Значения в начале и в конце периода изоляции подвергались непараметрическому ранговому тесту Уилкоксона с уровнем статистической значимости $p < 0,05$.

Результаты. Мощность промежуточного ритма (IMR) в начале миссии снизилась во время когнитивного тестирования (медиана 0,409, диапазон 0,264–0,713) по сравнению с предыдущим периодом отдыха (медиана 0,493, диапазон 0,393–0,669). Аналогичный результат был получен в конце миссии; во время когнитивного тестирования мощность IMR (медиана 0,423, диапазон 0,187– 0,702) была ниже, чем в предыдущий период отдыха (медиана 0,481, диапазон 0,295–0,595). Все различия были незначительными ($p > 0,05$).

Заключение. Ослабление промежуточного ритма указывает на снижение интерцептивного восприятия во время когнитивного тестирования после физической нагрузки. Предполагается, что переход к доминированию низкочастотных ритмов в микроциркуляции обусловлен совокупным воздействием умственной нагрузки и физической усталости.

MUSCLE OXYGENATION AND HEART RATE DURING EXERCISE IN THE SIRIUS-23 ONE-YEAR MISSION

Çotuk H.B.[1], Fomina E.[2], Ganicheva A.[2]

[1]Marmara University, Department of Sport Health Sciences, Istanbul, Türkiye
[2]Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

annaganicheva16@gmail.com

Aim. The objective of this study was to monitor the effects of training on muscle oxygenation and heart rate during the Sirius-23 one-year mission.

Methods. The physical training system in SIRIUS-23 was built on the principle of a 4-day microcycle, comprising three days of training and one day of rest. The locomotor training was performed on treadmills with active (using an electric motor) and passive (using leg strength) modes, as well as on an exercise bike. The six volunteers were subjected to a standard exercise test on five occasions during the mission, with an additional test conducted after the isolation period, at two-month intervals. The exercise testing procedure comprised two stages. Initially, the subject was required to walk at alternating speeds of 3 and 6 km/h for 18 minutes on the active treadmill. This was followed by a stage in which the speed was stepwise increased from 3 to 15 km/h (at 30 s intervals and +1 km/h). During the exercise test the oxygenation of the right vastus lateralis muscle was continuously monitored by near infrared spectrometry (NIRS) using the wearable Train.Red® NIRS device. Oxygen saturation of muscle tissue hemoglobin (and myoglobin) was recorded with sampling rate at 10 Hz in absolute percentage values (SmO_2 = oxygenated hemoglobin / total hemoglobin). The amplitude of the maximum drop in SmO_2 at the stepwise speed increase was calculated as a measure of metabolic strain. The heart rate (HR) was measured using a Polar H7 monitor, and the maximum HR (HRmax) achieved during the exercise was determined. The statistical analysis was conducted using a non-parametric repeated measures ANOVA (Friedman) with Jamovi 2.6 statistical software. The significance level was set at $p < 0.05$.

Results. A significant alteration was observed in the amplitude of the maximum decrease in SmO_2 ($\chi^2 = 13.0$, $p = 0.023$) across the six measurements. Pairwise comparisons (Durbin-Conover) revealed that the last (post-mission) exercise test produced the greatest SmO_2 drop (15.4 ± 6.9 %), and this value was significantly greater than the second in-mission exercise decrease (8.8 ± 2.9 %, $p = 0.004$), than the fourth in-mission exercise decrease (10.0 ± 4.5 %, $p = 0.002$) and than the fifth in-mission exercise decrease (8.9 ± 1.8 %, $p = 0.002$). No other pairwise comparison reached statistical significance, although the first and third in-mission exercise decreases of SmO_2 were pronounced (12.1 ± 6.2 % and 11.9 ± 3.1 %, respectively).

A significant difference was observed for HRmax ($\chi^2 = 16.7$, $p = 0.005$) across the six measurements. Pairwise comparisons (Durbin-Conover) revealed that the last (post-mission) exercise test produced the highest HRmax (180 ± 11.5/min), and this value was significantly higher than the second in-mission (175 ± 9.8/min, $p = 0.004$), than the third in-mission (174 ± 11.8/min, $p < 0.001$), than the fourth in-mission (172 ± 12.5/min, $p < 0.001$), and than the fifth in-mission HRmax (169 ± 22.1/min, $p < 0.001$). Additionally, the first in-mission HRmax (178 ± 9.6/min) was higher than the third ($p = 0.025$), than the fourth ($p = 0.012$), and the than the fifth ($p = 0.009$) in-mission HRmax.

Conclusion. The metabolic strain experienced by the subjects during the exercise appears to be contingent not solely on their training status, but also on the psychophysiological impact of the isolation. The decline in SmO_2 levels, triggered by the exercise, undergoes fluctuations during the isolation process, attaining a very low value at the fifth in-mission test. This is the point at which the group also becomes homogeneous (i.e. when the smallest within-group standard deviation is achieved). However, it is important to note that the most profound

SmO_2 decline and within-group variability is achieved by a mere «liberation effect» following the isolation process. Analogously, the systemic biomarker of the achieved metabolic strain, that is to say, heart rate, exhibited a parallelism with the peripheral muscle process. The mean values of heart rate exhibited a consistent decrease during the isolation phase, subsequently followed by an overshooting following the termination.

ОКСИГЕНАЦИЯ МЫШЦ И ЧАСТОТА СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ ВО ВРЕМЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ХОДЕ ГОДИЧНОЙ МИССИИ SIRIUS-23

Çotuk H.B.[1], Фомина Е.[2], Ганичева А.[2]

[1]Университет Мармара, кафедра спортивно-оздоровительных наук, Стамбул, Турция
[2]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

annaganicheva16@gmail.com, hbcotuk@marmara.edu.tr

Цель. Целью данного исследования было отслеживание влияния тренировок на оксигенацию мышц и частоту сердечных сокращений в ходе годичной миссии SIRIUS-23.

Методы. Система физической подготовки в SIRIUS-23 была построена по принципу 4-дневного микроцикла, состоящего из трех дней тренировок и одного дня отдыха. Тренировка опорно-двигательного аппарата проводилась на беговых дорожках в активном (с использованием электродвигателя) и пассивном (с использованием силы ног) режимах, а также на велотренажере. Шесть добровольцев прошли стандартный тест с физической нагрузкой пять раз во время миссии, а также дополнительный тест после периода изоляции с интервалом в два месяца. Процедура тестирования физической нагрузки состояла из двух этапов. Сначала испытуемый должен был ходить с переменной скоростью 3 и 6 км/ч в течение 18 минут на беговой дорожке в активном режиме. Затем следовал этап, на котором скорость постепенно увеличивалась с 3 до 15 км/ч (с интервалом 30 секунд и +1 км/ч). Во время теста с физической нагрузкой кислородное насыщение правой широкой мышцы бедра непрерывно контролировалось с помощью ближней инфракрасной спектрометрии (NIRS) с использованием носимого устройства Train.Red® NIRS. Насыщение кислородом гемоглобина (и миоглобина) мышечной ткани регистрировалось с частотой дискретизации 10 Гц в абсолютных процентных значениях (SmO_2 = оксигенированный гемоглобин/общий гемоглобин). Амплитуда максимального падения SmO_2 при постепенном увеличении скорости рассчитывалась как показатель метаболической нагрузки. Частота сердечных сокращений (ЧСС) измерялась с помощью монитора Polar H7, и определялась максимальная ЧСС (ЧССмакс), достигнутая во время упражнения. Статистический анализ проводился с использованием непараметрического повторного измерения.

Результаты. Было обнаружено значительное изменение амплитуды максимального падения SmO_2 (χ^2 = 13,0, p = 0,023) в шести измерениях. Параллельные сравнения (Durbin-Conover) показали, что последний (после миссии) тест с нагрузкой привел к наибольшему падению SmO_2 (15,4 ± 6,9 %), и это значение было значительно выше, чем второе падение во время миссии (8,8 ± 2,9 %, p = 0,004), четвертое снижение во время миссии (10,0 ± 4,5 %, p = 0,002) и пятое снижение во время миссии (8,9 ± 1,8 %, p = 0,002). Ни одно другое парное сравнение не достигло статистической значимости, хотя первое и третье снижение SmO_2 во время миссии были выраженными (12,1 ± 6,2 % и 11,9 ± 3,1 % соответственно).

Была обнаружена значимая разница в HRmax (χ^2 = 16,7, p = 0,005) между шестью измерениями. Парные сравнения (Durbin-Conover) показали, что последний (после миссии) тест с нагрузкой дал самое высокое значение HRmax (180 ± 11,5/мин), и это значение было значительно выше, чем во время второй миссии (175 ± 9,8/мин, p = 0,004), чем третье во время миссии (174 ± 11,8/мин, p < 0,001), чем четвертое во время миссии (172 ± 12,5/мин, p < 0,001) и чем пятое во время миссии HRmax (169 ± 22,1/мин, p < 0,001). Кроме того, первая HRmax во время миссии (178 ± 9,6/мин) была выше, чем третья (p = 0,025), четвертая (p = 0,012) и пятая (p = 0,009) HRmax во время миссии.

Заключение. Метаболическая нагрузка, испытываемая испытуемыми во время упражнений, по-видимому, зависит не только от их уровня подготовки, но и от психофизиологического воздействия изоляции. Снижение уровня SmO_2, вызванное упражнениями, подвергается колебаниям в процессе изоляции, достигая очень низкого значения на пятом тесте во время миссии. Это тот момент, когда группа также становится однородной (т. е. когда достигается наименьшее внутригрупповое стандартное отклонение). Однако важно отметить, что наиболее значительное снижение SmO_2 и внутригрупповая изменчивость достигаются за счет простого «эффекта освобождения» после процесса изоляции. Аналогично, системный биомаркер достигнутой метаболической нагрузки, то есть частота сердечных сокращений, демонстрировал

параллелизм с процессом в периферических мышцах. Средние значения частоты сердечных сокращений демонстрировали постоянное снижение во время фазы изоляции, за которым следовало превышение после ее окончания.

Все тезисы публикуются в авторской редакции.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абдюханов Р.Х., 170
Абу Шели Нэлли Мухамед Ашур, 9, 194
Аверьянов М.С., 39
Айдын Абилкас, 55
Алескеров А.М., 51, 145, 146, 176, 198
Алферов А.А., 129
Алферова И.В., 237
Ананьева Ю.Е., 11, 12, 13
Андреева Н.В., 95
Антонов Е.А., 98
Артемьева О.А., 196, 225
Астафьева С.Н., 162
Атрощенко В.И., 123
Афонин Б.В., 225
Бадянова В.С., 152, 154
Баландин Н.В., 235
Бараненков А.Е., 51
Баранов В.М., 4, 57, 129, 253
Баранов М.В., 179, 253
Баринов В.А., 16
Баркин В.В., 12, 13
Бахтерева В.Д., 101, 159, 237
Бекренева М.П., 18, 205
Белокопытов А.В., 51, 198
Билоус Е.С., 247
Бирюк Е.Н., 77
Бржозовский А.Г., 31
Бубеев Ю.А., 4, 173, 232
Бугрий Г.С., 170
Будевич А.И., 46
Буравкова Л.Б., 261
Буракова А.А., 21, 159, 237
Вавилов О.К., 170
Варганова И.А., 11
Василевский А.В., 98
Васильева Г.Ю., 4, 23, 24, 26, 49, 57, 146, 167, 182, 196, 216, 225, 237
Васильев И.М., 23, 85
Васин А.Л., 85
Величковская С.Б., 29
Вилесов Г.П., 31
Виноходова А.Г., 4, 24, 33, 115, 118, 210
Власова Д.Д., 129
Воронова А.А., 253
Воронов А.В., 253
Воронцов А.Л., 110, 149
Вострикова Л.В., 110
Гайнутдинова Е.А., 143
Гайнутдинова Э.А., 36, 121, 205
Гайсёнок О.В., 38
Ганичева А.А., 39, 159, 237, 264, 266
Гвоздева А.А., 140
Гвоздкова К.В., 41
Гимадиев Р.Р., 196
Глаголева С.О., 44, 121, 247
Гладких В.Д., 235
Головнева Н.А., 46
Горбатенко В.О., 129
Гордиенко К.В., 26, 49
Грачева М.А., 51, 145, 198
Громыко М.В., 52
Губкин С.В., 159
Гульзия Токтау, 55
Гуркова М.М., 90
Гусаков Г.В., 77
Гущин В.И., 33
Двоежёнова Е.А., 77
Девяткова Н.С., 201
Демин А.В., 56, 57, 85
Дикарев В.А., 60
Диленян Л.Р., 62
Домничева А.А., 65
Дунаев А.В., 135, 190
Дьяченко А.И., 71, 74, 162
Егорова А.А., 67, 172
Егорова И.В., 176
Егорова Н.Д., 69
Ермолаев Е.С., 71, 74
Ермолицкий В.Н., 46
Еськов К.Н., 33, 132
Жабанос Н.К., 77
Жарких Е.В., 135, 190
Жеребцова К.С., 79, 239, 242
Жирова Э.А., 82, 250
Журавлева О.А., 110, 149, 217
Журавлева Т.В., 4, 110, 217
Заболотская И.В., 110
Зарипов Р.Н., 56, 57, 71, 85
Заруцкая Э.К., 104
Захарова О.А., 12, 13
Зеленская И.С., 143
Золотоверхая Е.А., 16
Зуева М.В., 145, 176, 198
Иванов А.В., 87, 173
Иванова И.П., 13
Иванов К.П., 220
Ильин В.К., 4, 46, 77, 90, 185
Инцю Се, 55
Иомдина Е.Н., 146
Кадукова Е.М., 92
Казакова А.А., 51, 145
Калечиц В.И., 98
Карпинская В.Ю., 143
Катунцев В.П., 4, 253
Каширина Д.Н., 31, 164
Кириллова Ю.В., 172
Кириченко В.В., 97, 182
Кирюхин О.Л., 95

Кисельников А.А., 67
Кислицын А.А., 21
Китов В.В., 9
Ковачевич И.В., 97
Ковбасюк И.Е., 98
Ковригин С.Н., 60
Ковров Г.В., 227
Козлов М.Л., 79
Кокуева М.А., 39, 101, 159, 237
Колесников Д.Ю., 145, 146, 176, 216, 225
Колотева М.И., 4, 9, 194
Комиссарова Д.В., 65, 104, 182
Королев Л.М., 60
Костив А.Е., 162
Котелин В.И., 145, 176
Котровская Т.И., 87, 232
Кофиади И.А., 106
Кочергин А.Ю., 108, 110, 149
Кравченко Н.С., 77
Краюхина К.Ю., 12
Круглова А.Ю., 97
Крылов А.И., 60
Кувинова И.Е., 172
Кудряшова О.О., 123
Кузичкин Д.С., 110, 149
Кузнецова И.Н., 51
Кузнецова П.Г., 33, 69, 115, 118, 210
Кузнецов Е.П., 112
Кузьмин Ю.Б., 129
Куканова О.В., 201
Куоса Т.А., 95
Курбанова О.Э., 121, 143, 205
Куссмауль А.Р., 4, 182
Кутина И.В., 123
Кутько О.В., 126, 250, 256
Кушлинский Н.Е., 129
Лабецкая О.И., 110, 149
Лабкова А.А., 77
Лабынцева О.М., 201
Ларина И.М., 4, 31
Леднёв Е.М., 24
Лемешко Е.В., 159
Литвинов Е.О., 33, 132, 170
Лобанов К.А., 18
Логинов В.И., 149
Локтионова Ю.И., 135, 190
Лукичёва Н.А., 24
Лучицкая Е.С., 237
Лысенко Н.Е., 138, 140
Ляховецкий В.А., 143
Макарчев А.И., 196
Максимова И.Д., 41
Манько О.М., 145, 146, 176, 198
Маркин А.А., 4, 110, 149
Мартиросян В.В., 185
Мартусевич А.К., 62, 152, 154
Марченкова А.В., 157
Матюшев Т.В., 41, 79, 222, 239, 242
Мацнев Э.И., 220
Мельников И.И., 159
Метёлкин А.А., 157
Милаш С.В., 146
Михайловская А.Н., 162
Моисеева О.В., 12
Морозова А.Н., 46
Морозова Л.С., 95
Морозова Ю.А., 46
Мохаммад С.К., 239
Мухутдинов А.Р., 164
Мытыпова О.Т., 26, 167
Нагиба В.И., 11
Назаров В.В., 152, 154
Наумов Н.Н., 138
Некто А.А., 132, 170, 172, 173, 185
Немцева А.С., 41
Нероев В.В., 176
Николаев Д.В., 26
Ничипорук И.А., 177
Ниязов А.Р., 97, 179, 180, 182
Новиков В.Е., 49, 237
Носовский А.М., 90
Орлова К.Д., 182, 250
Орлов О.И., 23, 85, 202
Осецкий Н.Ю., 145
Охапкина О.Н., 242
Охоцимская Т.Д., 146
Павлова Е.П., 244
Парфенова А.А., 185
Пасекова О.Б., 220
Пастушкова Л.Х., 31
Паточка Г.Л., 11
Пашкова Д.В., 85, 135, 187, 190
Пеева О.Д., 138
Переведенцев О.В., 4, 192
Поддубко С.В., 4, 65, 77
Подъянов Д.А., 145, 146
Поляков А.В., 97, 179, 180, 235
Поляниченко А.А., 229
Пономарев И.И., 194
Пономарёв С.А., 4, 82, 126, 129, 180, 182, 250, 256
Попова Е.В., 60
Попова О.В., 85, 135, 190, 202
Попова Ю.А., 4, 24, 135, 187, 190
Попов М.А., 157
Примаченко Г.К., 253
Проклов Д.А., 212
Проскурякова Е.М., 170
Пучкова А.А., 9, 18, 195, 253
Ратушный А.Ю., 164
Репенкова Л.Г., 97
Реснянская В.В., 154
Рогач Н.В., 196
Рожкова Г.И., 198
Розанов И.А., 244

Романович Н.С., 77
Романов П.В., 159, 237
Рохмистрова Е.Г., 201
Румянцева В.С., 216
Русанов В.Б., 135, 190, 202
Рыкова М.П., 82, 90, 126, 217, 250, 256
Рюмин О.О., 229
Рябая Н.Е., 46
Рябина М.В., 146
Рябова А.М., 205
Савеко А.А., 18, 121
Савинкина А.О., 33, 118, 173, 207, 210
Савинцев А.Ю., 60
Садчикова Е.Р., 90
Сальников А.В., 9
Свидинская Е.А., 212
Седов Е.А., 216
Сенаторова Н.А., 159, 237
Сервули Е.А., 49
Сергеева Е.А., 157
Серова А.В., 110, 149, 217
Сигалева Е.Э., 220
Сигалева Т.В., 220
Сидоров В.В., 135
Симбаев А.Н., 60
Ситников А.В., 222
Смирнов Ю.И., 46, 77
Соколовская А.А., 157
Соловьёва З.О., 90
Соломадин Ю.С., 26, 225
Сорсорова Н.Р., 23
Ставровская Д.М., 253
Стилиди И.С., 129
Стулова Л.С., 227
Суполкина Н.С., 67, 229
Суровегина А.В., 154
Сухочев П.Ю., 170
Счастливцева Д.В., 85, 87, 222, 232
Тарасова Н.А., 146
Тащилин К.М., 154
Темарцев Д.А., 60
Томиловская Е.С., 9, 143, 194, 247
Усанова Н.А., 46, 77
Фадеев Д.В., 176
Фалеев А.В., 60
Федотов В.Д., 12
Федяй С.О., 173, 179, 180, 182
Филин К.Н., 235
Фомина Е.В., 4, 21, 39, 101, 159, 237, 264, 266
Фурик Н.Н., 77
Хозяшева Е.С., 98
Чеботарев Ю.С., 60
Чередников Р.Ф., 79, 239, 242
Черногоров Р.В., 24, 192
Черняк Е.А., 60
Чертоплохов В.А., 170
Чистяков Д.В., 129
Шахов М.Н., 98
Швед Д.М., 4, 132, 170, 172, 173
Шеина М.А., 79, 239, 242
Шенявская Е.М., 77
Шигуева Т.А., 9
Шишенина К.С., 244
Шишкин Н.В., 247
Шмаров В.А., 82, 126, 182, 250, 256
Шотина Н.Д., 123
Шпаков А.В., 9, 194, 253
Шулагин Ю.А., 71, 74
Шульгина С.М., 256
Шумилина И.В., 4, 258, 260
Щелыкалина С.П., 26, 167
Юскевич В.В., 90
Юсупова А.К., 67, 115
Якубец Д.А., 261
Яхья Ю.Д., 227
Adel B. Elmoselhi, 5
Andrew Blaber, 5
Balzer H.-U., 15
Catherine Taylor, 5
Chithramol M.K., 8
Çotuk H.B., 264, 266
Fu Y.M., 5
Hamza M. Al-Hroub, 5
Hao Z.K., 5
Kazhakkayil J, 7
Liu H., 5
Mishra Deepak, 6
Nandu Goswami, 5
Nelson C Soares, 5
Novikov V., 7
Popova J., 7
Rahul Saini, 26
Savinkina A., 7, 209, 211
Shine S.R., 8
Singh Vivek Kumar, 6
Toscano A., 9
Toscano R., 9
Vassilieva G., 7
Vishwajeet Shankhwar, 5
Zeinab Ibrahim, 5