

АВИАКОСМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА AVIAKOSMICHESKAYA I EKOLOGICHESKAYA MEDITSINA

НАУЧНЫЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC PERIODIC JOURNAL

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ушаков И.Б., д.м.н., профессор, академик РАН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ардашев В.Н., д.м.н., профессор
Баранов В.М., д.м.н., профессор, академик РАН
Буравкова Л.Б., д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН
Бухтияров И.В., д.м.н., профессор
Виноградова О.Л., д.м.н., профессор
Давыдов Б.И., д.м.н., профессор
Денисов С.Л., к.м.н. – заведующий издательством
Иванов И.В., д.м.н., профессор
Ильин Е.А., д.м.н., профессор – заместитель главного редактора
Котов О.В., к.м.н.
Меденков А.А., к.психол.н., д.м.н., профессор
Носков В.Б., д.м.н.
Орлов О.И., д.м.н., член-корреспондент РАН
Синяк Ю.Е., к.м.н., д.т.н., профессор
Усов В.М., д.м.н., профессор
Хоменко М.Н., д.м.н., профессор
Шипов А.А., д.б.н. – ответственный секретарь
Родионова Н.В., д.б.н., профессор (Украина)
Mukai Ch., M.D., Ph.D. (Japan)
Sutton J., M.D., Ph.D. (USA)
Suchet., Ph.D. (France)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Григорьев А.И., д.м.н., профессор, академик РАН – **председатель**
Благинин А.А., д.м.н., д.психол.н., профессор
Гальченко В.Ф., д.б.н., профессор, член-корреспондент РАН
Жданык И.М., д.м.н.
Козловская И.Б., д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН
Котовская А.Р., д.м.н., профессор
Никольский Е.Е., д.м.н., профессор, академик РАН
Островский М.А., д.б.н., профессор, академик РАН
Розанов А.Ю., д.г.-м.н., профессор, академик РАН
Рубин А.Б., д.б.н., профессор, член-корреспондент РАН
Залуцкий И.В., д.б.н., профессор, член-корреспондент НАНБ (Беларусь)
Крышталь О.А., д.б.н., профессор, академик НАНУ (Украина)
Gerzer R., M.D., Ph.D., professor (Germany)
Gharib C., Ph.D., professor (France)
Yinghui Li, M.D., Ph.D., professor (China)

2014 Т. 48 № 1

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 1967 ГОДУ

С 1967 по 1974 г. назывался «Космическая биология и медицина»,
с 1974 по 1991 г. – «Космическая биология и авиакосмическая медицина»

ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ ВЕДУЩИХ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ
ВЫСШЕЙ АТТЕСТАЦИОННОЙ КОМИССИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Государственный научный центр Российской Федерации –
Институт медико-биологических проблем
Российской академии наук»

**Журнал зарегистрирован в Государственном комитете РФ по печати 28.02.1995,
рег. № 01072, лицензия ИД № 05859 от 18.09.2001 г.**

© Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, 2014
© State Research Center RF – Institute of Biomedical Problems Russian Academy of Sciences, 2014

Все права зарегистрированы. Никакая часть журнала не может быть воспроизведена
каким-либо способом без письменного разрешения Издателя
All rights reserved. Articles and information contained in this publication may not be reproduced
in any form or translated without the written of the Editorial Board

Статьи, опубликованные в журнале, доступны в базах данных PubMed, SCOPUS, РИНЦ

Выпускающий редактор С.О. Николаев
Редакторы: О.Г. Сорокин, Е.А. Алексеева, С.М. Плаксина
Корректор М.Е. Козлова
Перевод Л.М. Смирновой
Компьютерная верстка Е.В. Рзаевой

Адрес: 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76а, метро «Полежаевская»,
Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН
(редакция)
тел.: 8 (499) 195-20-93, 8 (499) 195-68-74
факс: 8 (499) 195-22-53
эл. почта: library@imbp.ru, shipov3838@mail.ru (отв. секретарь)

Сдано в набор 03.03.2014.
Подписано в печать 02.04.2014.
Формат 60 × 84 1/8.
Гарнитура Times.
Печать офсетная.
Усл. печ. л. 10,46.
Тираж 300 экз.
Заказ № 128.

Отпечатано в типографии ООО ИПЦ «Научная книга».
Адрес: 394030, г. Воронеж, Московский пр-т, д. 116.

Содержание

Contents

Колонка главного редактора

5 Editorial

Экспериментальные и общетеоретические исследования

Experimental and Theoretical Investigations

Сычев В.Н., Ильин Е.А., Ярманова Е.Н.,
Раков Д.В., Ушаков И.Б., Кирилин А.Н.,
Орлов О.И., Григорьев А.И. Проект «Бион-М1»:
общая характеристика и предварительные итоги

7 Sychev V.N., Ilyin E.A., Yarmanova E.N.,
Rakov D.V., Ushakov I.B., Kirilin A.N., Orlov O.I.,
Grigoriev A.I. The Bion-M1 project: overview and
first results

Андреев-Андриевский А.А., Шенкман Б.С.,
Попова А.С., Долгих О.Н., Анохин К.В.,
Солдатов П.Э., Ильин Е.А., Сычев В.Н.
Экспериментальные исследования на мышах
по программе полета биоспутника «Бион-М1»

14 Andreev-Andrievsky A.A., Shenkman B.S.,
Popova A.S., Dolguikh O.N., Anokhin K.V., Soldatov P.E.,
Ilyin E.A., Sychev V.N. Experimental studies with
mice on the program of the biosatellite Bion-M1
mission

Завалко И.М., Боритко Я.С., Ковров Г.В.,
Виноходова А.Г., Чекалина А.И., Смолеев-
ский А.Е. Изменение структуры ночного сна
в зависимости от индивидуальных стратегий
адаптации к условиям 520-суточной изоляции

27 Zavalko I.M., Boritko Ya.S., Kovrov G.V.,
Vinokhodova A.G., Chekalina A.I., Smoleevsky A.E.
Night sleep structural alteration as a function
of individual strategy of adapting to 520-day
isolation

Ушаков И.Б., Бубеев Ю.А., Котровская Т.И.,
Квасовец С.В., Иванов А.В. Неосознаваемые ком-
поненты психофизиологических реакций участ-
ников эксперимента с 520-суточной изоляцией

39 Ushakov I.B., Bubeev Yu.A., Kotrovskaya T.I.,
Kvasovets S.V., Ivanov A.V. Unconscious components
of the psychophysiological reactions of the partici-
pants in the experiment with 520-day isolation

Пастушкова Л.Х., Киреев К.С., Кононихин А.С.,
Тийс Е.С., Попов И.А., Доброхотов И.В.,
Кусто М.-А., Иванисенко В.А., Колчанов Н.А.,
Николаев Е.Н., Почуев В.И., Ларина И.М.
Постоянные белки мочи здорового человека
в эксперименте с 520-суточной изоляцией

48 Pastushkova L.Kh., Kireev K.S., Kononikhin A.S.,
Tiys E.S., Popov I.A., Dobrokhoto I.V., Custaud M.-A.,
Ivanisenko V.A., Kolchanov N.A., Nikolaev E.N.,
Pochuev V.I., Larina I.M. Permanent proteins in healthy
human's urine in the experiment with 520-day isolation

Милошевский А.В., Мызников И.Л. Особенности
коморбидности у летного состава Северного флота,
дисквалифицированного по состоянию здоровья

54 Miloshevsky A.V., Myznikov I.L. Comorbidity
profile of the Russian Northern fleet flying
personnel disqualified for health reasons

Митрикас В.Г. Результаты статистического
анализа динамики дозовых полей ионизирующих
излучений в служебном модуле Международ-
ной космической станции за 2000–2012 годы

59 Mitrikas V.G. Results of statistical analysis of the
dynamics of ionizing radiation dose fields in the
service module of the International Space Station
in 2000–2012 dose fields in the service module
of the International Space Station in 2000–2012

Методики

Methods

Прошкин В.Ю., Курмазенко Э.А. Российская
система генерации кислорода «Электрон-ВМ»:
содержание водорода в электролиз-
ном кислороде для дыхания экипажа
Международной космической станции

65 Proshkin V.Yu., Kurmazenko E.A. Russian oxygen
generation system «Elektron-VM»: hydrogen
content in electrolytically produced oxygen for
breathing by International Space Station crews

Рецензии

Book Reviews

Markov M. Ю.Г. Григорьев, И.Б. Ушаков, Е.А. Красавин, Б.И. Давыдов, А.В. Шафиркин. Космическая радиобиология за 55 лет. М., 2013. **69**

Markov M. Yu.G. Grigoriev, I.B. Ushakov, E.A. Krasavin, B.I. Davydov, A.V. Shafirkin. 55 years of Space Radiobiology. M., 2013.

Хроника и информация

Chronicles and Information

Подольский М.Д., Тараканов С.А., Кузнецов В.И., Гайдуков В.С. Современные средства мониторингирования электрокардиограммы с помощью встраиваемых в одежду электродов **71**

Podolsky M.D., Tarakanov S.A., Kuznetsov V.I., Gaidukov V.S. Modern instruments for electrocardiogram monitoring with wearable electrodes

Меденков А.А., Нестерович Т.Б. Человеческие ресурсы космической деятельности (по материалам XLVIII Научных чтений памяти К.Э. Циолковского) **73**

Medenkov A.A., Nesterovich T.B. Human resources in the space activities (summary of the discussions at the XLVIIIth Scientific readings in memory of K.E. Tsiolkovsky)

Быстрова А.Г., Кузьмина А.Ю., Усачев А.Б. Об итогах работы 61-го Международного конгресса по авиационной и космической медицине **77**

Bystrova A.G., Kuz'mina A.Yu., Usachev A.B. On the results of the 61st International congress of aviation and space medicine

Денисов С.Л., Романов А.Н., Помелова М.А. О праздновании 50-летнего юбилея Государственного научного центра Российской Федерации – Института медико-биологических проблем Российской академии наук **80**

Denisov S.L., Romanov A.N., Pomelova M.A. On commemoration of the 50th anniversary of the State Scientific Center of Russian Federation – Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences

Правила для авторов

85 Instructions for authors

Колонка главного редактора

Уважаемые коллеги!

В прошедшем 2013 году учредитель и издатель этого журнала Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (сокращенно – ИМБП) отпраздновал свой 50-летний юбилей. О том, как это происходило, Вы сможете прочесть на страницах данного номера.

Учитывая планы к 2030 году начать создание обитаемых баз на Луне, а приблизительно в 2040 году стартовать к Марсу, становится очевидным, что всем нам впереди предстоит очень большая и сложная работа, некоторые направления которой на сегодняшний день выглядят просто фантастическими.

С другой стороны, это означает, что в ближайшие десятилетия нам будет что публиковать и обсуждать на страницах этого журнала.

В этой связи хотелось бы выразить слова огромной благодарности ряду всемирно известных отечественных и иностранных специалистов в области космической биологии, физиологии и медицины, одни из которых вошли в новый состав редакционной коллегии, а другие согласились стать членами редакционного совета, возглавил который вице-президент Российской академии наук, научный руководитель ИМБП академик А.И. Григорьев. Учитывая специфику нашей области знаний, отдельно отмечу, что мы будем рады, если ряды иностранных ученых в редакционной коллегии и редакционном совете журнала будут пополняться.

К этому добавлю, что в соответствии с требованиями таких международных баз данных, как Web of Science и Scopus начата работа по созданию двуязычного (на русском и английском языках) сайта журнала. Да и в целом вся работа по рецензированию, научному редактированию и допечатной подготовке материалов, публикуемых на страницах журнала, теперь будет ориентирована на эти требования.

Еще одним из направлений, реализуемых в настоящее время, является изменение облика издания, на что Вы, возможно, уже обратили внимание.

Рассчитываю, что все эти изменения приведут к существенному повышению научного рейтинга нашего журнала и в ближайшей перспективе позволят вывести его в число ведущих мировых научных периодических изданий в области авиакосмической и экологической медицины. Но эта цель может быть достигнута только с Вашим, уважаемые авторы, участием.

От всей души желаю Вам здоровья и новых творческих успехов!

Главный редактор журнала

И.Б. Ушаков

Esteemed colleagues!

In the past year, 2013, the founder and publisher of this journal – the State Scientific Center of the Russian Federation – Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (IBMP) celebrated its 50th anniversary. The story of how all that went on you can read on the pages of this issue.

To an extent, the celebratory events drew the bottom line under the accomplishments made in the previous fifty years and contributed to not only by Russian but also international specialists, under the auspices of multinational scientific cooperation included. The result is well-known – today piloted cosmonautics stands firmly on its own feet, and long-duration missions on Earth's orbit have become somewhat like a routine matter. It signifies that at the present point of history not only did space medicine come into being and evolved into a serious discipline, but it has been quite successful with managing its main objective which is to ensure the continuous presence and work of the humans in space.

In view of the prospects that construction of populated outposts on the Moon will have got going by 2030 and a mission to Mars will set off roughly in 2040, it is clear that all of us will have to deal with lots of hard work and challenges some of which seem to be just a piece of fiction.

On the other hand, it is a good sign that in the nearest 10 years we shall have plenty of topics for publications and discussions on the pages of this journal.

In this connection, I would like to extend my words of enormous gratitude to a number of world-famous international experts in space life sciences, physiology and medicine: several of them joined the new Editorial Board while others gave their consent to membership in the Editorial Council chaired by academician A.I. Grigoriev, vice-president of the Russian Academy of Sciences and IBMP scientific leader. Understanding the specifics of our field of knowledge, I would like to point it out separately that we shall be glad if more of the international scientists join the ranks of the Editorial Board and Council.

To this I need to add that we are working on the bilingual (Russian/English) journal website that will comply with the standards of such international databases as Web of Science and Scopus. Indeed, from now on the whole of the editorial activities such as reviewing, editing and prepress processing of papers to be published will be consistent with these standards.

Another line of our pursuit is to provide, as you have, probably, noticed, a new look to the publication.

I believe that all these metamorphoses will raise the academic ranking of the journal materially and that it will not be long before it gets listed among the top-tier aerospace and environmental medicine periodicals. However, our ambition can be achieved only with the partnership of you, our esteemed authors.

With my whole-hearted wishes for good health and new successful researches!

Editor-in-chief

I.B. Ushakov

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 001.891:629.783:525+578.0827

ПРОЕКТ «БИОН-М1»: ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИТОГИ

Сычев В.Н.¹, Ильин Е.А.¹, Ярманова Е.Н.¹, Раков Д.В.¹, Ушаков И.Б.¹, Кирилин А.Н.², Орлов О.И.¹, Григорьев А.И.¹

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

²Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара

e-mail: bionomy@imbp.ru

В период с 19 апреля по 19 мая 2013 г. состоялся полет биоспутника «Бион-М1». Программа экспериментов и исследований в этом полете в значительной степени является дальнейшим развитием работ по предшествующим 11 проектам «Бион», проектам «Фотон-М2» и «Фотон-М3». На борту биоспутника находились самые разнообразные живые системы для проведения экспериментов и исследований по гравитационной физиологии, гравитационной биологии, биотехнологии, астробиологии, радиационной биологии и радиационной дозиметрии и спектрометрии. Впервые в практике отечественной биологии и физиологии для длительного полетного эксперимента были выбраны мыши-самцы линии C57bl/6, что позволило сделать акцент на проведении молекулярно-биологических исследований. К сожалению, в связи с техническими сбоями в работе бортовой научной аппаратуры часть животных погибла. Однако основные целевые задачи за счет перераспределения биоматериала по различным направлениям исследований удалось выполнить практически в полном объеме.

Ключевые слова: биоспутник «Бион-М1», невесомость, мыши, песчанки, микроорганизмы.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 1. С. 7–14.

Одной из ключевых задач космической биологии и физиологии является исследование влияния факторов космического полета (КП) и космического пространства на фундаментальные процессы жизнедеятельности с целью создания научной основы для системы медицинского обеспечения КП человека и решения кардинальных проблем наук о жизни на Земле и за ее пределами.

Успешное решение этой задачи стало возможным благодаря созданию ракетно-космической техники, позволившей изучать реакции живых систем в ранее недоступных для исследований условиях. Объектами для такого изучения являются различные виды организмов, в первую очередь человек и животные.

Исследования состояния человека в КП позволили существенно продвинуться в понимании закономерностей и механизмов адаптации к условиям невесомости и в разработке средств и методов профилактики ее неблагоприятных эффектов. Тем не менее эксперименты на животных в КП в нашей стране и за рубежом не утратили своей актуальности в связи с тем, что важные для космической биологии и физиологии исследования могут быть проведены только на животных. К их числу относятся исследования:

- в строго контролируемых условиях для получения чистых научных результатов, не осложненных воздействием на организм психоэмоциональных факторов и средств профилактики;
- на генетически однородных популяциях с возможностью направленной модификации генетического паспорта;
- полного цикла индивидуального развития и отдаленных биологических последствий КП;
- на животных с коротким жизненным циклом для оценки влияния на организм различных этиологических факторов в ряду поколений;
- различных органов и тканей, извлеченных после эвтаназии у животных (комплексные морфологические, биохимические и молекулярно-биологические исследования);
- физиологической и посттравматической регенерации различных тканей организма;
- воздействия на организм экстремальных внешних факторов, которые потенциально могут привести к серьезным повреждениям организма или к его гибели (космическая радиация, гипомангнитная среда, резкие перепады температуры и барометрического давления, нештатные величины перегрузок и т.п.).

Некоторые из перечисленных исследований на животных были проведены в полете орбитального комплекса «Мир» [1], но главным образом осуществлены в полетах 11 биоспутников «Бион»

– автоматических космических аппаратов (КА), специально предназначенных для биологических и физиологических экспериментов [2, 3].

Реализация экспериментов на животных в полетах пилотируемых орбитальных станций, в частности на борту Международной космической станции (МКС), теоретически имеет ряд преимуществ по сравнению с аналогичными экспериментами в полетах автоматических КА. К ним следует отнести возможность:

– проведения экспериментов с длительным (многომесечным) нахождением животных в условиях КП, что практически невозможно при проведении полностью автоматизированных экспериментов на борту беспилотных КА;

– вмешательства космонавта в работу систем содержания и жизнеобеспечения животных (обслуживание, ремонт);

– непосредственного участия космонавта в проведении запланированных экспериментов и исследований;

– принятия оперативных решений и их быстрой реализации в ходе полета;

– плановой эвтаназии животных в ходе полета со взятием органов и тканей для их последующей отправки на Землю с целью осуществления комплексных научных исследований;

– проведения образовательных телерепортажей об экспериментах с животными на борту космического летательного аппарата.

Однако из-за ограниченного объема российского сегмента (РС) в пилотируемых полетах на МКС можно содержать лишь животных, не требующих сложных систем жизнеобеспечения и не загрязняющих среду обитания запахами, химическими токсикантами и твердыми частицами. Проведение экспериментов на млекопитающих (мышах, крысах, обезьянах), т.е. на животных, наиболее близких к человеку по своей анатомии и физиологии, в ближайшие годы на РС МКС по многим, главным образом техническим, причинам исключено. Однако потребность в проведении таких экспериментов в КП существует. Следовательно, другой альтернативы, кроме проведения российских экспериментов с млекопитающими на борту биоспутников «Бион-М», пока нет. Преимуществом проведения биологических и физиологических экспериментов в полетах автоматических (беспилотных) КА является возможность:

– планирования полета (даты запуска, параметров орбиты, продолжительности полета, условий жизнеобеспечения) для решения целей и задач, определенных научной программой;

– проведения экспериментов с опасными для человека воздействиями и методиками исследований (острое или хроническое облучение в повышенных дозах от бортового источника ионизирующего излучения, воздействие газообразных токсикантов

в дозах, превышающих ПДК, изотопные исследования, модели острых инфекционных заболеваний);

– принятия решения по ходу проведения экспериментов без согласования с программой полета экипажа в случае проведения экспериментов с животными на борту пилотируемых КА;

– запуска в космос и возвращения на Землю в одном КА большого количества животных, чего нельзя сделать на транспортном корабле «Союз».

Эти преимущества в полной мере проявились при выполнении программы «Бион» в 1973–1997 гг. В экспериментах на животных был получен большой объем научной информации о том, что в условиях невесомости практически во всех физиологических системах организма развиваются структурно-функциональные изменения, большая часть которых после окончания полета сравнительно быстро нормализуется. По мнению исследователей, обнаруженные изменения являются не патологией, а проявлением адаптации к условиям невесомости. Однако с точки зрения нормальной физиологии эти изменения свидетельствуют о развитии в условиях невесомости детренированности организма, и это касается, прежде всего, сердечно-сосудистой, сенсорной, мышечной и скелетной систем.

Полученные по программе «Бион» результаты о влиянии невесомости и других факторов КП на фундаментальные процессы жизнедеятельности были использованы при разработке средств профилактики для пилотируемых полетов и медицинском обосновании возможности годового полета человека в ближний космос при сохранении здоровья и высокого уровня работоспособности.

В настоящее время в полетных экспериментах на животных ставятся задачи, направленные на получение новых научных и технологических данных, необходимых для решения медицинских проблем полетов человека в дальний космос [4]. Для реализации такой амбициозной задачи необходимы, на наш взгляд, следующие условия: использование самых современных методов и технологий исследований, широкая научная, в том числе международная, кооперация, создание автоматических КА для полетов как по низким, так и по более высоким орбитам.

Учитывая высокую результативность исследований по программе «Бион», целесообразно в первую очередь возобновить запуски в космос биоспутников для продолжения исследований влияния невесомости на процессы жизнедеятельности в полетах по стандартным орбитам, а затем перейти к запускам КА на высокоапогейные орбиты для изучения комбинированного действия на организм невесомости, повышенных уровней космической радиации, гипомангнитной среды и других факторов КП.

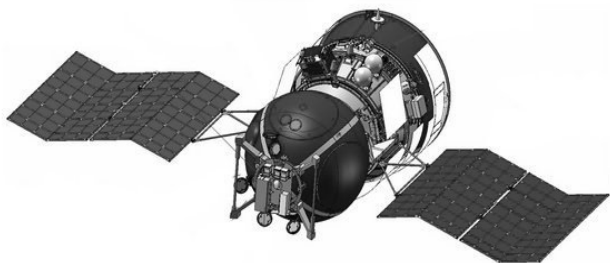
Запуск в космос первого биоспутника серии «Бион-М» через 16 лет после полета биоспутника «Бион-11» явился важным событием в

отечественной и мировой космонавтике и свидетельством признания научно-практической значимости экспериментальных исследований по космической биологии и физиологии.

Создание КА «Бион-М1» было предусмотрено Федеральной космической программой России на период 2005–2015 гг. Разработчиком этого КА, как и предыдущих биоспутников, был Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ-Прогресс» (ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара). Ответственным за разработку и реализацию комплексной программы экспериментов и исследований, за создание бортовой научной аппаратуры (НА), отбор и подготовку биообъектов к полету являлся Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН (ГНЦ РФ – ИМБП РАН).

В проведении экспериментальных исследований по проекту «Бион-М1» участвовали специалисты из 70 научных и образовательных учреждений России, а также специалисты зарубежных стран.

Космический аппарат «Бион-М» имеет ряд принципиальных отличий от своего предшественника КА «Бион», что позволяет считать его биоспутником нового поколения. В первую очередь его усовершенствование связано с установкой панелей солнечных батарей, что расширяет возможности использования энергоемкой НА и позволяет увеличить продолжительность КП до 30 и более суток. Важным отличием нового КА является включение в его конструкцию жидкостного двигателя многократного использования, что обеспечивает возможность его вывода на более высокую орбиту. И наконец, в КА «Бион-М» применена новая система поддержания требуемого состава газовой среды на борту с использованием размещаемых снаружи биоспутника баллонов с кислородом под повышенным давлением и фильтров очистки воздушной среды, находящихся внутри него. Внешний вид КА «Бион-М1» приведен на рисунке.



Космический аппарат «Бион-М» (разработчик и изготовитель ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»)

Все биообъекты были доставлены на космодром «Байконур» чартерным рейсом самолета за 7 сут до старта. За 3 сут до старта после выполнения работ по предполетной подготовке биообъектов и НА началось их размещение в спускаемом аппарате (СА) КА «Бион-М1». Старт состоялся 19 апреля 2013 г. в 14:00 (здесь и далее время московское). Максимальная величина перегрузки на активном участке полета составляла 4 g.

Полет КА «Бион-М1» проходил по околокруговой орбите высотой 575 км. Угол наклона орбиты составлял 64,9°. Все этапы полета КА прошли нормально, в соответствии с намеченным графиком. Параметры воздушной среды на борту биоспутника поддерживались в заданном диапазоне: pO_2 – 150–170 мм рт. ст., CO_2 – в среднем 0,02 мм рт. ст., относительная влажность в среднем 66 %, температура – 20–22 °С.

В связи с существенным повышением высоты орбиты КА «Бион-М1» и соответственно возрастанием интенсивности космического излучения во время полета проводили контроль облучения различных биообъектов, размещенных внутри СА и на его наружной поверхности. По данным В.А. Шуршакова, интегральная поглощенная доза за весь полет в СА изменялась от 32 до 72 мГр в зависимости от места расположения биообъектов, соответствующая мощность дозы составила от 0,5 до 1,25 мГр/сут, что примерно в 6 раз выше, чем на типичной для МКС орбите 400 км. Наибольшая дозовая нагрузка приходилась на биообъекты, размещенные вблизи стенки СА, снижаясь по мере приближения его к центру. Таким образом, доза облучения биообъектов, находившихся в течение месяца внутри КА «Бион-М», примерно равна дозе, получаемой космонавтами МКС за полугодовой полет.

На наружной поверхности СА мощность дозы в полете зависела от места расположения биообъектов в контейнерах НА и изменялась от 0,3 мГр/сут до 0,9 Гр/сут. Таким образом перепад доз снаружи КА достигал ~ 3000 раз, что обусловлено различием толщины и материала экранирующей защиты.

Во время полета биоспутника контроль за работой служебной и научной аппаратуры, снаряженной биообъектами, осуществляли в Центре управления полетами в г. Королеве.

Приземление СА состоялось 19 мая 2013 г., в 7:25, в 120 км юго-западнее г. Оренбурга. Максимальная величина перегрузки при спуске с орбиты составляла 6 g. Поисковая команда прибыла к месту приземления через 13 мин. Извлечение из СА НА с биообъектами началось в 8:55 и закончилось через 3 ч после приземления СА. Работа с биообъектами проводилась сразу после извлечения из СА соответствующей аппаратуры в течение 3 ч.

Транспортировка биообъектов с места приземления СА в Москву заняла 8 ч. В 19:00 все биообъекты были доставлены в лабораторию ГНЦ РФ – ИМБП РАН,

т.е. от момента приземления СА до начала работ с биообъектами прошло менее 12 ч.

Через 3 мес после окончания полета на экспериментально-стендовой базе ГНЦ РФ – ИМБП РАН был начат отставленный контрольный эксперимент с биообъектами, аналогичными полетным, с использованием той же самой НА, что была на борту КА «Бион-М1». Во время 30-суточного контрольного эксперимента воспроизводились те же параметры среды обитания, что и в КП, за исключением содержания CO₂, уровень которой по техническим причинам был несколько выше, но не превышал физиологически значимых величин.

Биообъекты и задачи исследований

Программа фундаментальных и прикладных исследований по проекту «Бион-М1» одобрена решениями Ученого совета ГНЦ РФ – ИМБП РАН, секцией по космической биологии и физиологии Совета РАН по космосу, Комиссией по биомедицинской этике при ГНЦ РФ – ИМБП РАН и утверждена 9.09.2012 г. Председателем Совета РАН по космосу академиком А.Ф. Андреевым.

Исходя из конкретных задач исследований для экспериментов в полете КА «Бион-М1», были выбраны следующие живые системы:

1. Млекопитающие:

- мыши C57bl/6, свободные от патогенной микрофлоры, в количестве 45 особей, возраст и масса перед полетом – 4–5 мес и 27,4 г соответственно;
- монгольские песчанки *Meriones unguiculatus* в количестве 8 особей, возраст и масса перед полетом – 5 мес и 59,4 г соответственно.

2. Рептилии: ящерицы-гекконы *Chondrodactylus turneri* Gray в количестве 15 особей, возраст – 1,5–2 года, масса перед полетом – 19–20 г, длина от кончика морды до кончика хвоста – 15–16 см.

3. Рыбы *Oreochromis mossambicus*.

4. Моллюски:

- виноградные улитки *Lucorum taurica* и *Helix lucorum caucasica*;
 - пресноводные улитки *Biomphalaria glabrata*;
5. Ракообразные:
- *Hyalella Azteca*;
 - активированные яйца *Artemia salina*.

6. Насекомые: личинки жука-древоточца *Hylotrupes bajulus*.

7. Микроорганизмы: *Thermoanaerobacter siderophilus*, *Moorella glycerini*, *Bacillus thermoamylovorans* SKC1, *Carboxydocella ferrireduca*, *Archaeoglobus fulgidus*, *Escherichia coli*, *Clostridium thermocellum*, *Trichoderma viride*, *Bdellovibrio*; микробный комплекс многолетне-мерзлого грунта, микробный комплекс почвенного чернозема, грибная культура и грибная споровая масса *Pleurotus ostreatus*.

8. Высшие растения:

- гаметофоры мха *Physcomitrella patens*;
- плоды расторопши пятнистой *Silybum marianum*, семена лимонника китайского *Schisandra chinensis* и Melissa лекарственной *Melissa officinalis*;
- семена.

9. Низшие растения:

- водоросли: *Euglena gracilis*, *Ceratophyllum*, *Anabaena variabilis*;
- лишайники: *Peltigera aphthosa* и *Hypogymnia physodes*.

10. Биопрепараты: образцы пептидов и нуклеотидов на стеклах.

В отличие от предыдущей программы «Бион», в данном полете впервые для физиологических, клеточных и молекулярных исследований были выбраны мыши линии C57bl/6. Ранее мыши этой линии использовались при проведении кратковременных полетов (до 1 сут) на советских космических кораблях-спутниках в 1960 г., в 2-недельных полетах «Спейс Шаттл» и в 3-месячном эксперименте на борту МКС, где из 6 мышей выжили 3. Важным отличием эксперимента с мышами в полете «Бион-М1» было то, что впервые в эксперименте использовались самцы, а не самки мышей. Это значительно повышало ценность получаемых результатов, но создавало дополнительные трудности в связи с вероятностью возникновения конфликтов внутри групп.

Анатомия и физиология мышей во-многом такая же, как у человека, к тому же геном мыши на 99 % совпадает с геномом человека. Поэтому линейные мыши являются наиболее подходящими объектами для изучения механизмов адаптации к невесомости на генном, протеомном и клеточном уровнях.

Несмотря на широкий перечень конкретных задач послеполетных исследований на мышах, основным направлением было изучение клеточных и молекулярных механизмов адаптации организма к условиям невесомости, что отличало эти исследования от исследований с участием человека.

К сожалению, во время полета биоспутника «Бион-М1» произошел отказ одного из 3 блоков «БИОС-МЛЖ», в которых находились мыши, поэтому 15 мышей погибли в первые 10 сут полета. Живыми из КП вернулись 16 мышей из 30 оставшихся и находившихся в 2 других блоках «БИОС-МЛЖ». Гибель мышей была вызвана несколькими причинами: сбоями в системе подачи пищи, конфликтами внутри группы, попаданием мышей в движущиеся части кормушки. При проведении наземных биотехнических испытаний блока «БИОС-МЛЖ» ничего подобного не наблюдали.

По оценке российских ветеринаров и главного ветеринара НАСА, входившего в состав группы американских исследователей, состояние вернувшихся из КП мышей было хорошим. Животные были

пригодны для проведения запланированных послеполетных научных исследований.

В соответствии с программой послеполетных исследований 1-ю группу мышей (11 особей) подвергли эвтаназии для проведения гистологических, биохимических, молекулярно-биологических и других исследований практически всех органов и тканей *in vitro*. На 2-й группе мышей (5 особей) после полета проводили исследования внешнего дыхания, сердечно-сосудистой системы и поведения. На 8-е сутки после полета проведены эвтаназия этой группы животных и взятие органов и тканей для исследований *in vitro*, в значительной степени повторяющих те, что были выполнены на 1-й группе мышей.

Несмотря на частичную гибель мышей в КП, основные исследования на этих животных выполнены практически в полном объеме, за исключением запланированных на первые часы после приземления.

Другими представителями млекопитающих на борту биоспутника были монгольские песчанки. На этих животных планировалось проведение тех же исследований, что и по проекту 12-суточного полета КА «Фотон-М3» в 2007 г.: видеосъемка их поведения в условиях невесомости и послеполетные морфофункциональные исследования различных физиологических систем организма. Основная цель исследований на песчанках по проекту «Бион-М1» заключалась в сопоставлении результатов исследований после 30-суточного полета с аналогичными результатами после 12-суточного полета и определении влияния длительности пребывания в условиях невесомости на структурно-функциональные изменения в организме. Однако это не удалось реализовать, так как аппаратура «Контур-БМ», в которой находились песчанки, на 7-е сутки полета биоспутника «Бион-М1» вышла из строя.

Такая же участь постигла и НА «Омегахэб», в которой находились рыбы, пресноводные улитки и рачки. На 12-е сутки полета в НА отключилось освещение, фотосинтез водорослей прекратился, в связи с чем все гетеротрофные обитатели микроэкосистемы погибли. Выжили только водоросли, так как *Euglena gracilis* способна переходить с автотрофного питания на гетеротрофное.

Обширная программа полетных исследований поведенческих реакций с использованием видеорегистрации и послеполетных исследований структурно-функциональных адаптаций к условиям невесомости была успешно реализована на ящерицах-гекконах, которые хорошо перенесли условия КП. В отличие от мышей и песчанок, эти животные большую часть времени проводят в фиксированном положении тела благодаря способности прикрепляться лапами к любой поверхности, независимо от вектора силы тяжести. Эта особенность яще-

риц-гекконов позволяет оценить видоспецифичность в реакциях различных земных организмов на условия невесомости. На ящерицах-гекконах были успешно проведены эксперименты в полетах КА «Фотон-М2» (2005) и «Фотон-М3» (2007) продолжительностью 14 и 12 сут соответственно [5].

Виноградные улитки, отобранные для эксперимента, хорошо перенесли условия 30-суточного полета на борту биоспутника «Бион-М1». Выбор улиток был обусловлен 2 основными причинами. Во-первых, это классический объект для исследований поведения животных и возбудимости гравирецепторов статоциста – органа ориентации животного в пространстве. Во-вторых, виноградные улитки были использованы в качестве объектов исследований в полетах КА «Фотон-М2» и «Фотон-М3» [6].

Сравнительный анализ результатов однотипных послеполетных исследований на ящерицах-гекконах и улитках по проектам «Фотон-М» и «Бион-М1» позволил оценить биологическую значимость фактора длительности пребывания в условиях невесомости в развитии структурно-функциональных изменений в организме.

Большое количество разнообразных экспериментов было успешно выполнено с культурами микроорганизмов и микробными ассоциациями, которые размещались как внутри КА, так и на его наружной поверхности. Предполагалось, что применение современных молекулярно-генетических методик исследований позволит оценить влияние невесомости, а также комплекса экстремальных факторов открытого космического пространства (ионизирующая радиация, УФ-излучение, вакуум, резкие перепады температуры) на биологические свойства микроорганизмов. Результаты этих исследований могут быть важны для гравитационной биологии, астробиологии, планетарного карантина и биотехнологии.

Традиционными объектами исследований в области гравитационной биологии являются высшие растения. В данном полете изучалось влияние невесомости на химический состав и содержание биологически активных соединений в лекарственных растениях. На лишайниках, культурах протонем мхов и грибах изучали влияние факторов КП на рост и развитие растений и исследовали белковый профиль клеток методами протеомики. Семена высших растений использовали главным образом в качестве индикаторов радиационного воздействия. Все запланированные эксперименты с высшими растениями выполнены в полном объеме.

Научная аппаратура

Из практики проведения биологических экспериментов в КП следует, что успех в реализации научной программы в значительной степени зависит

от надежности работы бортовой НА. Для экспериментов, которые проводятся в полетах автоматических КА, это особенно важно, поскольку отсутствует возможность проведения ремонтных работ в ходе полета.

Если проанализировать историю эксплуатации бортовой НА в полетах 11 биоспутников, можно увидеть, что в 6 полетах возникали те или иные отклонения в ее работе. Наиболее часто наблюдали сбои в работе системы обеспечения крыс и обезьян пастообразным кормом, что в некоторых КП приводило к частичной гибели крыс. Так, в полете биоспутника «Бион-1» (1973) погибли 9 из 45 крыс (20 %), а также произошли серьезные сбои в работе системы регенерации атмосферы, что привело к сокращению запланированной продолжительности полета. Первый полетный эксперимент с обезьянами в 1983 г. тоже был существенно сокращен по продолжительности в связи с повреждением обезьяной системы полужесткой фиксации тела. В полете биоспутника «Бион-8» в 1983 г. произошел отказ в работе системы подачи пастообразного корма одной обезьяне. Случались также сбои в работе оранжереи для выращивания растений и термостатов для экспериментов с тканевыми культурами.

Вышеизложенное свидетельствует, прежде всего, о необходимости проведения более тщательных предполетных наземных испытаний НА. Вероятность отказов в работе полностью автоматизированных бортовых комплексов аппаратуры необходимо также учитывать при разработке программ исследований, имея в виду возможное уменьшение количества животных и других биообъектов.

Первоначально программа экспериментов и исследований по проекту «Бион-М1» была составлена из расчета, что вся бортовая НА будет исправно функционировать. В пользу этого свидетельствовали результаты ее наземных технических и биотехнических испытаний. Однако в ходе КП стало ясно, что это далеко не так. Погибли 29 мышей, поэтому программа исследований на мышах была модифицирована таким образом, чтобы, несмотря на гибель животных в полете, реализовать основные цели и задачи послеполетных исследований.

Полетные эксперименты на мышах и ящерицах-гекконах проводили в НА «БИОС-МЛЖ», разработанной и изготовленной СКТБ «Биофизприбор» Федерального медико-биологического агентства. На борту биоспутника были размещены 3 блока «БИОС-МЛЖ» для содержания 45 мышей (по 15 особей в каждом блоке) и 15 гекконов (по 5 особей в каждой камере с наименованием «БИОС-ГК»). Каждый блок «БИОС-МЛЖ» включал в свой состав 5 камер (клеток), в которых содержалось по 3 мыши, систему подачи пастообразного корма, систему вентиляции и сбора отходов жизнедеятельности, систему освещения, видеорегистраторы поведения

животных и систему внутрикабинной телеметрической передачи и регистрации данных об артериальном давлении у 5 мышей, находившихся в одном из блоков «БИОС-МЛЖ».

Камеры цилиндрической формы для содержания мышей имели размеры: длина 200 ± 10 мм, диаметр 98 ± 2 мм. Камеры (клетки) для содержания гекконов были прямоугольной формы объемом 5 л. Принудительная вентиляция камер с мышами осуществлялась непрерывно с 6-кратной сменой воздушных объемов в минуту. Линейная скорость воздушного потока составляла не более 0,3 м/с. Воздушный поток на выходе из клеток с мышами подвергался предварительной очистке от газообразных микропримесей и механических частиц. Вентиляция камер с гекконами была пассивной и проводилась через отверстия в камере.

Освещение в клетках с мышами и гекконами осуществлялось по графику: 12 ч – «день», 12 ч – «ночь». Освещенность желтым светом клетки составляла 45 ± 5 лк в зоне кормушки и 40 ± 5 лк в зоне посадочного люка. Для обеспечения периодической круглосуточной видеосъемки поведения мышей освещенность клетки желтым светом в ночное время поддерживалась на уровне 5 ± 2 лк. Освещенность белым светом в камере с гекконами составляла днем не менее 300 лк и ночью – 5 ± 2 лк, что позволило получить большой объем видеoinформации о поведении животных.

Кормление мышей осуществлялось 6-разовым заполнением пастообразным кормом 5 индивидуальных кормушек блоков «БИОС-МЛЖ» ежедневно. Кормление гекконов обеспечивалось открыванием кормушек в течение 4 ч через каждые 3 сут.

Информация о работе аппаратуры «БИОС-МЛЖ» ежедневно передавалась на Землю по каналам телеметрической связи.

Для полетного эксперимента с монгольскими песчанками была использована модернизированная герметично замкнутая НА «Контур-БМ» с автономной системой жизнеобеспечения. Аппаратура была разработана и изготовлена в ЗАО «СКБ ЭО» при ГНЦ РФ – ИМБП РАН в 2007 г. и прошла летно-конструкторские испытания при проведении эксперимента с песчанками в 12-суточном полете КА «Фотон-М3» [7].

В НА «Контур-БМ» на борту биоспутника «Бион-М1» были размещены 8 песчанок. Парциальное давление кислорода в герметичной камере для животных во время КП колебалось в пределах 140–180 мм рт. ст., линейная скорость вентиляции составляла 0,3 м/с, парциальное давление CO_2 достигало 5,3 мм рт. ст. Освещенность в клетке с животными была не менее 5 лк. Для наблюдения за поведением животных снаружи аппаратуры были установлены 3 видеокамеры. Кормление животных осуществлялось брикетированным кормом с

повышенным содержанием влаги. Информация о работе аппаратуры поступала на Землю по каналам телеметрической связи.

Эксперимент с рыбами, водорослями и раками проводился в НА «Омегахэб», разработанной и изготовленной в Германии.

Виноградные улитки на борту биоспутника «Бион-М1» находились в 2 вентилируемых контейнерах ББ-1М, аналогичных используемым в полетах КА «Фотон-М2» и «Фотон-М3» [6]. Всего в 2 контейнерах было размещено 16 улиток. После полета 15 улиток были в хорошем состоянии, 1 улитка погибла.

Эксперименты с высшими растениями и микроорганизмами проводились главным образом в модифицированной НА «Биоконт-Б» производства ФГУП «ЦНИИмаш» в условиях термостатирования при температуре 26 °С или без термостатирования при температуре 20–22 °С. Указанная аппаратура, прошедшая летно-конструкторские испытания в полетах КА «Фотон-М2» и «Фотон-М3», находилась внутри спускаемого аппарата «Бион-М1».

В контейнерах НА производства ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», которые были установлены на внешней поверхности СА, размещались платы полезной нагрузки (ППН) производства ГНЦ РФ – ИМБП РАН, обеспечивающие проведение экспериментов с микроорганизмами, чистой грибной культурой, грибной споровой массой, лишайниками, семенами и биообъектами. Биообъекты экспонировались в условиях открытого космоса. Перед спуском с орбиты термоизолированная крышка контейнеров НА закрывалась, защищая тем самым биообъекты от перегрева при прохождении спускаемого аппарата через плотные слои атмосферы.

Другой эксперимент с условным названием «Метеорит» был направлен на изучение возможности сохранения жизнеспособности термофильных культур бактерий в условиях аэродинамического нагрева при прохождении их минерального носителя (аналог метеорита) в составе СА через плотные слои атмосферы. Научной аппаратурой для этого эксперимента служил искусственный метеорит, который крепился в теплозащитном покрытии СА.

Заключение

Предварительные результаты показывают важность проведения исследований на животных для понимания влияния условий КП на организм человека. К сожалению, сложность выполнения программ экспериментальных исследований на животных в КП ограничивает частоту их проведения и предполагает использование коллективных усилий и знаний большого научного сообщества. Российские и зарубежные экспериментаторы после

успешного выполнения 1-го этапа послеполетных исследований настоящим образом рекомендуют, не отказываясь от перспектив использования МКС, продолжить эксперименты на животных в полетах автоматических КА. Данные исследования помогут глубже понять механизмы воздействия факторов КП на живые системы, включая человека, расширят возможности решения фундаментальных проблем общей биологии и физиологии.

Результатом реализации проекта «Бион-М1» являются не только новые научные данные. Благодаря этому проекту после 16-летнего перерыва в полетах биоспутников вновь создана инфраструктура, способная решать задачи такой сложности и масштаба. Сформирована научная кооперация, в которую входят российские институты РАН, РАМН и университеты из большинства регионов России, а также ведущие зарубежные университеты и научные учреждения Украины, Казахстана, Германии, Франции, Болгарии, США.

В ГНЦ РФ – ИМБП РАН создана экспериментальная база, в том числе стендовая, для проведения широкомасштабных исследований, разработаны и отработаны методики, позволяющие с использованием современного технологического аппаратного обеспечения проводить на клеточном и молекулярно-генетическом уровнях углубленные исследования тонких механизмов реакции живых систем на воздействие факторов КП и космического пространства и оценивать биологические последствия этих воздействий для животного организма, включая человека.

Работа по проекту «Бион-М1» выполнена при поддержке Федерального космического агентства и Президиума Российской академии наук.

Авторы выражают благодарность всем участникам работ по проекту «Бион-М1» за самоотверженную работу, энтузиазм и преданность идеям освоения космоса.

Список литературы

1. Сычев В.Н., Левинских М.А., Гурьева Т.С. и др. Биологические эксперименты в пилотируемых космических полетах // Космическая медицина и биология: Сб. науч. ст. / А.И. Григорьев, И.Б. Ушаков, ред. М., 2013. С. 170–192.
2. Sychev V.N., Levinskikh M.A., Gurieva T.S. et al. Biological experiments in piloted space flights // Kosmicheskaya Meditsina i Biologiya: Sbornik nauchnikh statey / A.I. Grigoriev, I.B. Ushakov, eds. Moscow, 2013. P. 170–192.
3. Газенко О.Г., Ильин Е.А. Биоспутники: адаптация к невесомости // Наука и человечество. М., 1988. С. 277–291.
4. Gazenko O.G., Ilyin E.A. Biosatellites: adaptation to weightlessness // Nauka i chelovechestvo. Moscow, 1988. P. 277–291.

3. Григорьев А.И., Ильин Е.А. Животные в космосе: к 50-летию космической биологии // Вестн. Рос. акад. наук. 2007. Т. 77. № 1. С. 963–974.

Grigoriev A.I., Ilyin E.A. Animals in space: to 50-years of space biology // Vestnik Rossiyskoy akademii nauk. 2007. V. 77. № 1. P. 963–974.

4. Ильин Е.А. Программа «Бион» – от прошлого к будущему // Авиакосм. и экол. мед. 2008. Т. 42. № 6. С. 57–59.

Ilyin E.A. Bion program – from the past to the future // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2008. V. 42. № 6. P. 57–59.

5. Nikitin V.B., Proshina A.E., Kharlamova A.S. et al. Comparative studies of the thick-toed geckos after the 16 and 12 days spaceflights in Foton-M experiments // J. Gravit. Physiol. 2008. V. 15. № 1. С. 285–288.

6. Balaban P.M., Malyshev A.Y., Ierusalimsky V.N. et al. Structure and function of the snail Statocyst system after orbital missions of Foton-M2 and Foton-M3 // Ibid. 2008. V. 15. № 1. P. 273–276.

7. Солдатов П.Э., Смирнов И.А., Ильин Е.А. и др. Условия содержания и жизнеобеспечения монгольских песчанок в полете космического аппарата «Фотон-М3» // Авиакосм. и экол. мед. 2009. Т. 43. № 5. С. 12–18.

Soldatov P.E., Smirnov I.A., Ilyin E.A. et al. Habitability and life support for Mongolian gerbils in flight of spacecraft Foton-M3 // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2009. V. 43. № 5. P. 12–18.

Поступила 10.02.2014

THE BION-M1 PROJECT: OVERVIEW AND FIRST RESULTS

Sychev V.N., Ilyin E.A., Yarmanova E.N., Rakov D.V., Ushakov I.B., Kirilin A.N., Orlov O.I., Grigoriev A.I.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 1. P. 7–14

Biosatellite BION-M1 was launched on April 19 and landed on May 19, 2013. The mission program was largely a continuation of the earlier flown 11 BION projects, FOTON-M2 and FOTON-M3. The biosatellite was inhabited by a great variety of living organisms used for experiments and studies in gravitational physiology, gravitational biology, biotechnology, astrobiology and radiation biology, dosimetry and spectrometry. This was the first time in the history of national biology and physiology when male mice C57bl/6 were chosen for a long-term space experiment focused upon molecular biology investigations. Unfortunately, because of technical failures during the flight a part of the animals were lost. However, the major objectives were attained through reconsideration of biomaterial division among investigators and completion of virtually the total scope of investigations.

Key words: biosatellite BION-M1, microgravity, mice, gerbils, microorganisms.

УДК 611.12:001.891.5:629:783.525

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА МЫШАХ ПО ПРОГРАММЕ ПОЛЕТА БИОСПУТНИКА «БИОН-M1»

Андреев-Андриевский А.А.^{1,2}, Шенкман Б.С.¹, Попова А.С.^{1,2}, Долгов О.Н.³, Анохин К.В.^{3,4}, Солдатов П.Э.¹, Виноградова О.Л.¹, Ильин Е.А.¹, Сычев В.Н.¹

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

²Биологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

³Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина, Москва

⁴Центр нано-, био-, информационных и когнитивных наук Курчатовского института, Москва
e-mail: bionomy@imbp.ru

Целью проекта «Бион-M1» являлось создание научных и технологических основ для решения медицинских проблем будущих полетов человека в дальний космос. Научная программа исследований на мышах была сфокусирована на выявлении клеточных и молекулярных механизмов реакции мышц, костей, сенсомоторной, сердечно-сосудистой и иммунной систем на длительное пребывание в условиях микрогравитации. Исследования носили комплексный характер и сочетали прижизненные

измерения с исследованиями тканей и клеток мышей современными морфологическими, биохимическими и молекулярно-биологическими методами.

В качестве объекта исследований были выбраны самцы мышей линии C57/bl6 возрастом 4–5 мес. Мышей полетной группы, группы наземного контрольного эксперимента, а также 2 групп животных, содержащихся в виварии (виварный контроль), обследовали сразу после возвращения и после 7-суточного периода реадaptации.

Некоторые физиологические функции регистрировали на протяжении всего полета.

Для обеспечения благополучия животных в экспериментах, а также для повышения качества научных данных мыши перед полетом проходили специальную подготовку. Подготовка была направлена на адаптацию животных в группах совместного содержания, к полетному корму и стрессирующим условиям космического полета. Подготовка мышей, предназначенных для послеполетных прижизненных исследований, включала предполетное тестирование и обучение до полета.

Ключевые слова: биоспутник, микрогравитация, мыши.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 1. С. 14–27.

Успех освоения человеком околоземного космического пространства во многом основан на результатах биомедицинских исследований на животных. Целью этих исследований является в первую очередь оценка влияния микрогравитации и других факторов космического полета на организм. Именно в экспериментах на животных было установлено, что организм может выжить во время запуска космического аппарата или непродолжительного пребывания в невесомости [2, 24]. В этих исследованиях были использованы собаки – традиционный объект отечественной физиологии. Многие из этих собак и даже их щенки стали известны всему миру. Проведение исследований с животными приблизило полет в космос первого человека – Ю.А. Гагарина.

По мере роста числа и, что важнее, продолжительности полетов космонавтов стало очевидно, что пребывание в невесомости оказывает выраженное влияние на организм человека. Характер изменений основных физиологических систем и их механизмы были исследованы в рамках программы «Бион». «Бион» – серия из 11 полетов специально сконструированных космических аппаратов – биоспутников (1973–1997), на борту которых были проведены эксперименты с 212 крысами, 12 обезьянами и рядом других биологических объектов. Длительность полетов составляла от 5 до 22,5 сут.

Именно в рамках программы «Бион» получены основные данные о механизмах вестибулярных рефлексов, о состоянии сенсорного аппарата в условиях невесомости, о гипoadренергических сдвигах в структурах головного мозга, о закономерностях атрофических изменений скелетных мышц (наиболее выраженные изменения характерны для постуральных экстензоров). Были установлены новые закономерности управления мышечной активностью – инактивация постуральных и активация флексорных мотонейронов. В рамках программы «Бион» впервые были получены данные об изменении изоформного состава легких и тяжелых цепей миозина в сторону пре-

обладания быстрых изоформ. Впервые в рамках программы установлены основные закономерности процессов резорбции кости.

В экспериментах на борту 4 биоспутников «Бион» была показана эффективность использования искусственной силы тяжести для профилактики изменений, обусловленных пребыванием в невесомости. Важным результатом программы «Бион» стало создание научного фундамента для разработки российской системы профилактики, используемой для предотвращения и коррекции негативного воздействия невесомости на организм космонавтов и сегодня. Задачи освоения дальнего космоса обуславливают необходимость проведения биомедицинских исследований на животных, конечной целью которых должно стать научное обоснование и рекомендации по созданию системы мер профилактики и коррекции негативного воздействия факторов длительного космического полета (КП) и пребывания на других планетах. Известно, что после возвращения на Землю космонавты проходят длительный курс восстановления (реабилитации), однако в случае межпланетного полета ситуация будет принципиально иной, и космонавты, после того как окажутся в гравитационном поле Луны, Марса или астероидов, должны быть сразу вовлечены в активную деятельность.

В настоящее время задача обеспечения быстрого восстановления работоспособности космонавтов после длительного пребывания в космическом пространстве не решена в полном объеме. Для ее решения необходимы данные о тонких механизмах адаптации различных систем организма к условиям невесомости и реадaptации к условиям планетной гравитации. На сбор и анализ этих научных данных и был направлен проект «Бион-1М». Этот проект продолжает отечественную программу биомедицинских исследований на животных в космосе с использованием современных экспериментальных технологий.

Первый полет по программе «Бион-М» состоялся в 2013 г. – через 16 лет после полета последнего биоспутника по программе «Бион». «М» в названии программы – сокращение от слова «модернизированный», что в равной степени справедливо как для научной программы полета, так и для конструкции космического аппарата. Общая характеристика проекта «Бион-M1» представлена в отдельной статье в данном выпуске журнала.

Целью научной программы экспериментов на мышах в проекте «Бион-M1» было исследование клеточных и молекулярных механизмов адаптации основных физиологических систем к микрогравитации, а также реадaptации к условиям гравитационного поля Земли после возвращения животных. Основные усилия были сфокусированы на исследовании реакции сенсомоторной и нервной систем

в целом, опорно-двигательной, сердечно-сосудистой, иммунной систем на длительное пребывание в условиях микрогравитации. Исследования носили комплексный характер и сочетали прижизненные измерения с исследованиями структурных и функциональных изменений органов и тканей *in vitro*.

Основным объектом биомедицинских исследований в программе «Бион-М» стали мыши линии C57/BL6, имеющие ряд достоинств в качестве объекта космической биологии. Мыши являются самыми мелкими из лабораторных грызунов, и в этом состоит наиболее очевидное их преимущество, поскольку возможность запуска сразу большого числа животных, обусловленная их малыми размерами, позволяет существенно увеличить объем получаемых научных данных. Мыши, пожалуй, наиболее изученные экспериментальные животные. Так, именно их геном был расшифрован одним из первых. Хорошо разработаны и активно применяются технологии получения генетически модифицированных животных. В частности, генетические модификации мышей позволяют создавать специфические экспериментальные модели, которые дополняют существующие многочисленные и различные по фенотипу линии мышей, а значит, и возможности исследования клеточных и молекулярных механизмов физиологических функций. Немаловажно, что многие методы и оборудование для физиологических исследований на целом организме к настоящему времени адаптированы к использованию на мышах.

Мыши – новый объект для современного этапа отечественных космических исследований. В то же время именно мыши наряду с собаками и обезьянами были одним из ключевых объектов исследований в США. Самые первые эксперименты, проводившиеся в этой стране в середине прошлого века, как и в СССР, были направлены на выяснение возможности выживания млекопитающих в КП [1, 10]. Систематические биомедицинские исследования на мышах проводились в полетах Шаттлов STS-90, STS-108, STS-129, STS-131, STS-133 и STS-135. Научная программа этих экспериментов была направлена на исследования мышц, костей, соединительнотканых структур, нервной, сердечно-сосудистой и иммунной систем. В экспериментах использовали самок мышей, которых экспонировали в условиях микрогравитации 12–16 сут. Ткани животных исследовали вскоре после возвращения на Землю. Следует, однако, отметить, что объем опубликованных результатов по этой программе относительно невелик [7, 8, 20, 30, 34].

Наиболее длительным КП мышей к настоящему времени является эксперимент MDS (Mice Drawer System) итальянского космического агентства. В рамках этого эксперимента 6 мышей содержали на борту Международной космической станции (МКС)

в течение 91 сут. Блоки содержания животных нуждались в периодическом обслуживании экипажем. В этом эксперименте были использованы те возможности, которые предоставляют технологии генетической модификации мышей: 3 мыши были трансгенными с гиперэкспрессией плеiotропина, другие 3 – дикого типа. К сожалению, цели эксперимента были достигнуты только частично, поскольку половина мышей по различным причинам погибла в ходе полета [12, 28].

Благополучию животных в космических экспериментах с самых первых полетов уделялось пристальное внимание. Собак, обезьян, крыс и песчанок специально готовили к КП [3–5, 33]. Целями подготовки животных было обеспечение как их благополучия во время эксперимента, так и качества научных данных. Для мышей, ставших основным объектом исследований в полете «Бион-М1», также была разработана специальная программа подготовки.

В данной статье изложены описание основных исследований, проведенных на мышах по проекту «Бион-М1», схемы проведенных экспериментов и программа подготовки животных к ним.

Ключевые направления и методы исследований

Основной целью научной программы экспериментов на мышах в проекте «Бион-М1», как уже упомянуто выше, было исследование клеточных и молекулярных механизмов адаптаций организма млекопитающих к микрогравитации.

Исследования нервной системы включали наблюдения за поведением животных в ходе полета, а также в пред- и послеполетный периоды. Анализировали как свободное поведение животных в условиях «домашней клетки», так и поведенческие реакции в стандартизированных экспериментальных условиях. Отдельно необходимо выделить исследования когнитивной функции животных, а именно памяти и способности к обучению. Для этого исследования у мышей в предполетный период был выработан оперантный навык, а после возвращения на Землю были исследованы его воспроизведение и выработка нового, более сложного навыка. Адаптационные изменения сердечно-сосудистой системы в условиях космического полета являются одним из ключевых факторов, определяющих снижение работоспособности после возвращения человека на Землю. В рамках проекта «Бион-М1» была впервые проведена непрерывная регистрация артериального давления (АД) и частоты сокращений сердца (ЧСС) на протяжении всего полета, включая этапы гипергравитации во время запуска и приземления, а также в пред- и послеполетный периоды. Гемодинамические показатели сопоставляли с уровнем физической

активности животных с целью определения ее метаболической стоимости.

Кроме исследований, проведенных *in vivo* и направленных на анализ влияния факторов КП на поведение животных и некоторые прижизненные вегетативные показатели, значительная часть исследований была ориентирована на оценку влияния факторов КП на метаболизм, структуру и функцию органов и тканей.

Для этого 11 животных полетной группы, как и 12 животных виварного контроля, сразу после прибытия в ГНЦ РФ – ИМБП РАН были подвергнуты эвтаназии методом цервикальной дислокации. Способ эвтаназии был одобрен Комиссией института по биомедицинской этике. Биоматериал этих животных был немедленно забран и подвергнут первичной обработке для тканевого анализа.

Для анализа был получен материал следующих органов и тканей: структур головного мозга, вестибулярного аппарата, сетчатки и хрусталика глаза, спинного мозга, мышц задних конечностей и спины, позвоночника, костей передних и задних конечностей, суставных и хрящевых структур, костно-сухожильного сочленения, костного мозга. Был также получен материал миокарда, мозговых артерий и сосудов задних конечностей, легких, органов пищеварительного тракта, печени, почек, селезенки, тимуса, кожи, слюнных желез и семенников. Были взяты пробы крови. Все тканевые пробы предназначались как для структурного анализа (включая традиционную гистологию, электронную микроскопию, традиционную гистохимию и иммуногистохимию), так и для биохимического и молекулярно-биологического анализа (иммуноферментный анализ, высокоэффективная жидкостная хроматография, вестерн-блот, полимеразная цепная реакция в реальном времени, полногеномный анализ экспрессии генов). Часть материала была подвергнута биосенсорному анализу. Часть проб скелетных мышц, миокарда и гладкомышечные ткани сосудов были подвергнуты механобиологическому анализу *in vitro* с помощью механомиографа и атомной силовой микроскопии.

Аналогичной диссекции с забором биоматериала через 7 сут после полета были подвергнуты и мыши, прошедшие комплекс тестирующих процедур (см. выше) в ходе периода реадaptации, а также животные, экспонированные в полетной аппаратуре в течение 30 сут на Земле.

Научная программа экспериментов с мышами, представленная здесь в кратком виде, неоднократно обсуждалась на заседаниях ученого совета ГНЦ РФ – ИМБП РАН, Секции по космической биологии и физиологии совета РАН по космосу и утверждена вице-президентом РАН академиком А.Ф. Андреевым 9 ноября 2012 г.

Схема эксперимента

Полетный эксперимент на борту биоспутника «Бион-М1» был проведен в период с 19 апреля по 19 мая 2013 г., полетная группа мышей (П) была экспонирована в условиях микрогравитации в течение 30 сут. Отставленный наземный контрольный эксперимент, в котором были воспроизведены условия содержания и среды обитания на биоспутнике, проходил с 26 июля по 26 августа 2013 г. В ходе этого эксперимента группу животных (К) содержали в блоках «БИОС-МЛЖ», использованных в полетном эксперименте и прошедших после полета техническое обслуживание. Блоки содержания животных были установлены в климатической камере, в которой воспроизводили температуру, влажность и газовый состав атмосферы в полете биоспутника. Для учета возможных сезонных различий в физиологических показателях животных отдельные группы мышей содержали в стандартных условиях вивария одновременно с полетным (ПВ) и наземным контрольным экспериментами (КВ).

Каждая из групп мышей состояла из 45 животных, из них 10 – для прижизненных исследований и оценки динамики восстановления после эксперимента и 35 – для исследований *in vitro*. После 7-суточного периода наблюдения за реадaptацией после возвращения или окончания контрольного эксперимента мышей подгруппы «восстановление» обследовали по той же программе, что и животных «острой» подгруппы, обследованных сразу после окончания полета и контрольного эксперимента. Каждая подгруппа из 10 животных, предназначенных для прижизненных исследований, включала 5 мышей с вживленными телеметрическими датчиками АД и 5 интактных животных. В дополнение к основным 4 группам животных, к экспериментам готовили мышей, дублирующих основную полетную группу.

Все эксперименты выполнены на самцах мышей линии C57/BL6N, возраст которых на момент запуска биоспутника (или начала контрольного эксперимента) составлял 19–20 нед. Животные были свободны от патогенной микрофлоры. Во всех экспериментах самцов содержали группами по 3 особи («тройка») в клетке.

В этой связи необходимо привести следующие причины выбора линии, пола, возраста и условий содержания животных. Линия мышей C57/BL6 (N в полном названии линии обозначает подлинию Национального института здоровья США) является одной из наиболее широко используемых и была выбрана на основании пожеланий участников проекта. Фенотип этих мышей крайне подробно изучен и в целом не имеет особенностей. Выбор возраста животных был связан с тем, что в 4–5 мес мыши достигают зрелости, скорость их роста замедляется,

а ожирение, к которому склонны мыши C57/BL6, как правило, развивается гораздо позднее.

Выбор животных мужского пола был обусловлен несколькими преимуществами самцов по сравнению с самками в качестве объекта исследований для реализации научной программы «Бион-М1». Наиболее важным плюсом является относительно стабильный уровень половых стероидов у мужских особей. Хорошо известно, что циклические изменения уровня женских половых гормонов оказывают выраженное влияние практически на все без исключения физиологические функции. Во-вторых, самцы мышей значительно (на 20–30 %) крупнее самок. Наконец, использование самцов позволило провести исследование половой функции мужского организма после длительного КП. Таким образом, именно использование самцов отвечало требованиям научной программы проекта, а также позволило снизить вариабельность экспериментальных данных, обусловленную факторами, не связанными напрямую с воздействием микрогравитации. В то же время хорошо известна высокая агрессивность зрелых самцов мышей этой линии. Возможность избыточной внутригрупповой агрессии рассматривалась как один из серьезных факторов риска для благополучия животных, а меры для минимизации этих рисков были предприняты на этапе подготовки животных к полету.

Влияние микробиологического статуса на состояние иммунной системы организма очевидно и не требует разъяснений. Существуют данные, свидетельствующие о повышении вирулентности микроорганизмов в условиях КП [6, 37]. Поэтому для обеспечения здоровья мышей в ходе полета представлялось целесообразным использовать животных, свободных от патогенной микрофлоры. Дополнительной выгодой от использования животных с контролируемой микрофлорой является снижение вариабельности экспериментальных данных [22].

Представленная в данной статье обширная программа научных исследований на мышах должна была быть выполнена на относительно небольшом числе животных. В этой связи с целью снижения вклада индивидуальной изменчивости в общую вариабельность экспериментальных данных физиологические эксперименты по возможности строили таким образом, чтобы проводить измерения у одних и тех же животных повторно [17]. Особенно важно данное соображение для исследований поведения и других прижизненных измерений, поэтому животные, предназначенные для прижизненных исследований, были протестированы и обучены до полета, а по результатам предполетных исследований были отобраны гомогенные группы.

Эвтаназия животных проводилась методом цервикальной дислокации, выбранным как наименее противоречащим реализации задач научной программы.

Подготовка животных к эксперименту

Программа подготовки мышей к экспериментам включала в себя меры, направленные на минимизацию рисков для благополучия животных, определенных при составлении схемы экспериментов, а также на обеспечение качества экспериментальных данных. Стоит отметить, что длительность подготовки животных к эксперименту превышала длительность собственно эксперимента.

Подготовка животных состояла в индивидуальной маркировке мышей, формировании групп совместного содержания из 3 животных и отборе устойчивых «троек», адаптации мышей к полетному корму и стрессирующим условиям эксперимента. Подготовка животных, предназначенных для прижизненных исследований, была более обширна и включала вживание датчиков АД и проведение предполетного тестирования поведения и функционального состояния животных, результаты которого были использованы для формирования гомогенных экспериментальных групп.

Основные этапы работы с животными представлены в табл. 1 и 2.

Биоэтика

Биоэтическая экспертиза протокола исследования проводилась Комиссией по биоэтике НИИ митотехнологии МГУ (протокол № 35 от 1 ноября 2012 г.) и Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 319 от 4 апреля 2013 г.). Эксперименты выполнялись в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 18 марта 1986 г.) [15] и приказом № 742 Министерства высшего и среднего специального образования СССР «Об утверждении Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных» от 13.11.1984.

Животные

Самцы мышей C57/BL6N числом 300 особей были получены из филиала Института биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова – питомника лабораторных животных «Пушино» в возрасте 8–9 нед. Адаптация животных после получения из питомника составила 2–3 сут.

Все животные были SPF-статуса. При работе с животными соблюдались меры, предотвращающие их контаминацию.

Таблица 1

Ключевые даты полетного эксперимента

Мероприятия	Время относительно запуска (L) или возвращения (R)
Получение мышей из питомника	L – 51 сут
Маркировка животных	L – 50 сут
Вживление датчиков артериального давления	L – 50 сут
Взвешивание и осмотр, ежедневно	L – 50 сут – L – 3 сут
Кoadаптация мышей в группах совместного содержания	L – 45 сут – L – 3 сут
Адаптация мышей к пастообразному корму	L – 14 сут – L – 3 сут
Предполетное обучение и тестирование мышей для прижизненных исследований	L – 30 сут – L – 9 сут
Транспортировка на Байконур	L – 7 сут
Адаптация на космодроме	L – 7 сут – L – 3 сут
Окончательный отбор животных полетной группы	L – 3 сут
Размещение животных в аппаратуре «БИОС-МЛЖ»	L – 3 сут
Установка «БИОС-МЛЖ» на космический аппарат	L – 3 сут
Наблюдение за мышами	L – 3 сут – L – 1 сут
Транспортировка биоспутника для дальнейшей сборки	L – 2 сут
Транспортировка ракеты на пусковой стол	L – 1 сут
Установка на пусковом столе	L – 16 ч
Запуск (14.00 19.04.2013)	L – 0
Полет биоспутника «Бион-М1»: 477 витков – 30 дней (19.04.–19.05.2013)	
Включение тормозных двигателей	R – 0,75 ч
Вход в атмосферу	R – 0,25 ч
Открытие парашюта	R – 0,17 ч
Включение двигателей мягкой посадки (07.11 19.05.2013)	R – 0
Прибытие поисково-спасательной бригады	R + 0,25 ч
Демонтаж аппаратуры «БИОС-МЛЖ»	R + 2 ч – R + 3 ч
Обследование мышей на месте приземления	R + 2 ч – R + 5 ч
Транспортировка в Москву	R + 5 ч – R + 12 ч
Эвтаназия и исследования <i>in vitro</i>	R + 13 ч – R + 25 ч
Реоадаптация животных и прижизненные исследования	R + 0 сут – R + 7 сут
Эвтаназия группы «Восстановление» и исследования <i>in vitro</i>	R + 7 сут

Таблица 2

Ключевые даты контрольного эксперимента

Мероприятия	Время относительно начала (S) или конца эксперимента (E)
Получение мышей из питомника	S – 38 сут
Маркировка животных	S – 37 сут
Вживление датчиков артериального давления	S – 36 сут
Взвешивание и осмотр, ежедневно	S – 37 сут – S – 2 сут
Кoadаптация мышей в группах совместного содержания	S – 29 сут – S – 2 сут
Адаптация мышей к пастообразному корму	S – 14 сут – S – 2 сут
Предполетное обучение и тестирование мышей для прижизненных исследований	S – 21 сут – S – 6 сут
Транспортировка в ИМБП	S – 1 сут
Размещение животных в аппаратуре «БИОС-МЛЖ»	S – 1 сут
Установка аппаратуры «БИОС-МЛЖ в климатическую камеру»	S – 1 сут
Наблюдение за мышами	S – 1 сут – S – 0
Начало наземного контрольного эксперимента (14.00 26.07.2013)	S0
Наземный контрольный эксперимент – 30 сут (26.07–26.08.2013)	
Конец наземного контрольного эксперимента (09.00 26.08.2013)	E – 0
Демонтаж аппаратуры «БИОС-МЛЖ»	E + 1ч – E + 2 ч
Осмотр мышей	E + 1 ч – E + 3 ч
Имитация транспортировки	E + 4 ч – E + 8 ч
Эвтаназия и исследования <i>in vitro</i>	E + 8 ч – E + 23 ч
Реоадаптация животных и прижизненные исследования	E + 0 сут – E + 7 сут
Эвтаназия группы «Восстановление» и исследования <i>in vitro</i>	E + 7 сут

Таблица 3

Параметры среды содержания животных на борту биоспутника, в климатической камере во время наземного контрольного эксперимента и в виварии			
Показатель (M ± SD)	Виварий	Биоспутник	Контрольный эксперимент
Температура, °C	23 ± 1,5	21,1 ± 0,4	21,3 ± 0,8
Относительная влажность, %	49 ± 17	61 ± 3	71 ± 2
Давление, мм рт. ст.	–	762 ± 6	747 ± 3
O ₂ , %	–	21,2 ± 1,1	21,2 ± 0,5
CO ₂ , %	–	0,002 ± 0,005	0,0682 ± 0,0718

Параметры микроклимата

Животных содержали при температуре 20–27 °C, относительной влажности 20–75 %, 12-часовом световом дне (включение света в 09.00). Параметры микроклимата на биоспутнике, в климатической камере при проведении наземного контрольного эксперимента и в виварии практически не различались (табл. 3) и соответствовали требованиям, предъявляемым к условиям содержания мышей [16, 21]. Параметры среды обитания на биоспутнике соответствовали техническому заданию на протяжении всего полета.

Первичные ограждения

До полета (за исключением непродолжительного периода предполетного тестирования) мышей содержали в индивидуально вентилируемых клетках (GM500, Techniplast) с площадью пола 500 см². Среду обитания обогащали укрытиями (Techniplast), представляющими собой треугольные камеры из красного акрила с 2 входами, картонными цилиндрами, а в качестве гнездового материала мышам предоставляли бумажные салфетки. Все поступающие к животным материалы были стерильными. Смену клеток осуществляли 1 раз в неделю.

Во время полетного и наземного контрольного экспериментов мышей содержали в блоках «БИОС-МЛЖ» (рис. 1), устройство которых описано в статье Сычева В.Н., Ильина Е.А., Ярмановой Е.Н. и др. «Проект «Бион-М1»: общая характеристика и предварительные итоги» в данном выпуске журнала.

Идентификация животных

Животные были индивидуально маркированы с использованием 2 систем меток: надрезами ушных раковин и чипами радиочастотной идентификации (RFID). Для чипирования животных использовали RFID-чипы размером 1,4 x 8,5 мм (EI1000 Felixcan, Испания), которые вживляли подкожно в области холки под местной анестезией.

Групповое содержание

Мышей содержали группами по 3 особи, что считается оптимальным для содержания самцов мышей [36]. Формирование и отбор устойчивых групп совместного содержания было ключевым элементом предполетной подготовки, направленной на предотвращение избыточной агрессии во время полетного и наземного контрольного экспериментов, когда доступ к животным был невозможен.

Сразу после получения из питомника мыши были рассажены группами по 3 особи, после чего наблюдали за их состоянием и групповым поведением. Наблюдения за мышами состояли в их ежедневном осмотре и взвешивании. Наличие у мышей покусыв (как правило, расположенных на хвосте, коже спины или задних лап) и/или резкое (более, чем на 1 г) снижение массы тела считали признаками избыточной агрессии в группе совместного содержания.

Хорошо известно, что даже простейшие манипуляции вызывают у мышей острую стресс-реакцию, причем если адаптация поведения мышей к экспериментальным манипуляциям происходит относительно быстро, то вегетативные реакции (повышение АД, ЧСС, температуры и уровня



Рис. 1. Интерьер блока содержания животных

кортикостерона в крови) с ростом числа повторений манипуляционных процедур затухают медленно [9, 14, 18, 35]. Таким образом, ежедневные манипуляции с животными, помимо оценки их состояния, позволяли адаптировать мышей к стрессирующим условиям эксперимента [23], а кроме того, служили своеобразной «провокацией», выявляющей животных с избыточной агрессивностью. После ежедневных манипуляций наблюдали за поведением мышей в группе с целью регистрации избыточных агрессивных взаимодействий, свидетельствующих о неустойчивости данной группы совместного содержания.

Смена клеток также является фактором, провоцирующим агрессивные взаимодействия в группах самцов мышей с неустойчивой иерархией, поскольку разрушает систему запаховых меток [36]. Поэтому после смены клеток наблюдали за поведением мышей с целью выявления неустойчивых групп. Наконец, об устойчивости иерархии в группе судили по наличию общего гнезда и использованию укрытия. Укрытия являются ценным для мышей ресурсом, а самцы при групповом содержании конкурируют за их использование [36]. По нашим наблюдениям, хорошим индикатором устойчивости иерархии в группе мышей является наличие общего группового гнезда, размещенного, как правило, внутри укрытия. Таким образом, о взаимоотношениях в группе мышей судили по наличию видимых покусов, наличию общего гнезда и поведению животных после ежедневных манипуляций и чистки клеток. Группы, в которых наблюдали избыточные агрессивные взаимодействия, либо переформировывали (с использованием резервных животных), либо исключали из экспериментов.

Всего из 300 животных удалось сформировать 88 «троек» (88 % мышей ужились в группах), из них 53 группы для полетного эксперимента (П) и синхронного ему содержания мышей в виварии (ПВ) и 35 групп – для отставленного наземного контрольного эксперимента (К) и виварной контрольной группы (КВ). Состав 12 из 88 сформированных «троек» (14 %) изменяли в период коадаптации.

Кормление животных

На 1-м этапе подготовки мыши получали стандартный гранулированный комбикорм («Чара для содержания», Ассортимент-Агро, Россия) и деионизированную воду. Затем животных полетной группы (П) и группы наземного контрольного эксперимента (К) переводили на питание «полетным» пастообразным кормом. Животные виварных групп (ПВ и КВ) получали стандартный комбикорм и воду на протяжении всего эксперимента. Животные имели свободный доступ

к корму и воде (или пастообразному корму), за исключением периода предполетного тестирования, когда в целях стимуляции выработки оперантного навыка норму выдачи корма корректировали таким образом, чтобы масса тела мышей снижалась до 80–90 % от исходной [26].

Полетный корм был разработан в Т.С. Гурьевой и Е.И. Медниковой в ГНЦ РФ – ИМБП РАН с учетом потребностей животных и технических характеристик системы подачи корма в аппаратуре БИОС-МЛЖ и представлял собой пасту из стандартного комбикорма, воды и казеина в качестве загустителя. Содержание воды в пастообразном корме составляло 76–78 %. Адаптацию мышей к питанию пастообразным кормом проводили постепенно. В первые 1–2 дня мыши имели доступ к стандартному комбикорму, воде и пастообразному корму, затем убирали поилку, а спустя еще 2–3 дня исключали и гранулированный комбикорм.

Среднее потребление гранулированного корма мышами виварных групп (ПВ и КВ) составляло $1,3 \pm 0,14$ г/10 г массы тела, воды – $1,52 \pm 0,65$ мл/10 г массы тела, потребление пастообразного корма мышами полетной и контрольной групп (П и К) составляло $5,52 \pm 0,88$ г/10 г массы тела (среднее $\pm$ стандартное отклонение). С учетом влажности пастообразного корма (76–78 %) потребление сухого вещества составляло $1,27 \pm 0,2$ г/10 г массы тела, что не отличается от потребления стандартного комбикорма ($t = 0,52$, $p = 0,6097$, тест Стьюдента). В то же время количество воды, которое мыши потребляли при питании пастообразным кормом, составляло $4,25 \pm 0,67$ г/10 г массы тела, что примерно втрое превышает потребление воды на стандартной диете ($t = 11,9$, $p < 0,0001$, тест Стьюдента). Таким образом очевидно, что потребление мышами пастообразного корма определялось потребностью в питательных веществах, а не жаждой.

Увеличение потребления воды при питании пастообразным кормом не оказывало видимого негативного воздействия на состояние животных, однако диурез животных был повышен, а моча была менее концентрированной, чем в норме. С целью количественной оценки диуреза при питании стандартным и пастообразным кормом на отдельной группе мышей был проведен эксперимент в метаболических камерах. Четыре группы мышей из 3 особей каждая содержали в метаболических камерах (Techniplast, Италия) и в течение 3 сут выдавали им стандартный комбикорм и воду, а в течение последующих 3 сут – пастообразный корм. При смене диеты на пастообразный корм потребление жидкости снизилось более чем в 5 раз, а диурез возрос почти в 10 раз (табл. 4).

Таблица 4

Масса тела мышей, потребление корма, воды, диурез и дефекации мышей при питании стандартным и полетным пастообразным кормом

Показатель	Стандартный комбикорм + вода	Полетный пастообразный корм
Масса тела, г	25,7 ± 0,62	27,1 ± 0,74*
Потребление корма (г/10 г массы тела)	1,32 ± 0,19	5,96 ± 0,72
Потребление воды (мл/10 г массы тела)	1,2 ± 0,22	4,59 ± 0,55*
Суточный диурез (мл/10 г массы тела)	0,23 ± 0,11	2,44 ± 0,39*
Масса кала в сутки (г/10 г массы тела)	0,23 ± 0,05	0,63 ± 0,1*

* – $p < 0,05$

Вживление датчиков артериального давления

Артериальное давление регистрировали у части животных, предназначенных для прижизненных исследований, с использованием вживляемых датчиков и системы телеметрии (Data Science International, США), адаптированной к использованию на борту биоспутника «Бион-М1» инженерами СКТБ «Биофизприбор» и CNES (Франция). Миниатюрные датчики (РА-С10) массой 1,4 г вживляли не менее чем за 3 недели до использования животных в экспериментах [25]. Мышей наркотизировали сочетанным внутривенным введением тилетамина, золазепам (по 15 мг/кг каждого) и ксилазина (3 мг/кг) и при необходимости вводили поддерживающие дозы (20–30 % от исходной). Катетер датчика вводили в дугу аорты через правую сонную артерию, а корпус располагали подкожно на боку грудной клетки, согласно инструкции производителя.

В послеоперационный период животных содержали изолированно и давали с питьевой водой ибупрофен (4 мг/мл) для обезболивания и антимикробный препарат широкого спектра действия бактрим (4 мг/мл). Ветеринарный контроль за животными в острый послеоперационный период был ежедневным. О восстановлении животных судили по нормализации массы тела и поведению животных в клетке. Как правило, животные восстанавливались к 5–6-м суткам после операции, после чего их ссаживали с «соседями» из группы совместного содержания.

Были опробованы 2 способа объединения групп после временной изоляции одной из особей. При 1-м способе к оперированной мышке подсаживали 2 ее интактных «соседей», создавая, таким образом, ситуацию «хозяин – чужак» и предоставляя преимущество оперированной мышке. Однако при таком способе воссоединения групп оперированное животное, как правило, реагировало на 2 других особей с избыточной агрессией. Второй способ состоял в ссаживании всех 3 мышей в чистой новой клетке, не предоставляющей преимуществы какому-либо из животных. При таком способе воссоединения групп

проходило успешно, поэтому его использовали в дальнейшем при воссоединении «троек».

При планировании экспериментов возможность ухудшения состояния животных после вживления датчиков рассматривалась в качестве серьезного фактора риска, поэтому было проведено сравнение поведенческих и функциональных показателей, зарегистрированных в ходе предполетного тестирования, у оперированных (всего датчики были вживлены 35 животным) и интактных мышей. Оперированные животные не отличались от интактных по данным внешнего осмотра, поведенческим показателям в тесте «открытое поле», максимальной произвольной силе, времени удержания на вращающемся стержне, способности к обучению, спонтанной двигательной активности в «домашней клетке» и беговом колесе.

Предполетное тестирование мышей для прижизненных исследований

Мыши, предназначенные для прижизненных исследований, проходили предполетное тестирование и обучение, результаты которого были использованы для отбора гомогенных экспериментальных групп и в качестве фоновых данных для проведения сравнений с послеполетными показателями.

Батарея тестов включала осмотр с элементами неврологического тестирования [32], тест «открытое поле» [13, 19], тест на вращающемся стержне [31], измерение максимальной произвольной силы передних и задних конечностей [29] в 1-е сутки, после чего животных помещали на 7 сут в систему автоматизированного сбора поведенческих данных (Phenomaster, TSE, Германия). С использованием этой системы в течение 7 сут вели непрерывную регистрацию потребления корма и воды, двигательной активности в «домашней клетке», спонтанной двигательной активности в беговом колесе, а также проводили выработку оперантного навыка предпочтения стороны при положительном пищевом подкреплении и свободном доступе животных к обучающему модулю [11, 27]. На протяжении всего

предполетного тестирования у мышей со вживленными датчиками регистрировали АД и ЧСС.

Качество сигнала АД, объем бега в колесе и успешность выработки навыка использовали в качестве критериев включения мышей в экспериментальные группы. Для полетного эксперимента и соответствующей виварной группы (П и ПВ) было протестировано 42 мыши, для наземного контрольного эксперимента и виварной группы (К и KB) – 30 мышей, из них 26 (62 %) и 16 (53 %) особей соответственно были отобраны для использования в экспериментах (табл. 5).

Транспортировка на Байконур

Животных полетной и дублирующей полетной групп транспортировали на Байконур за 7 сут до запуска. Для транспортировки использовали стандартные транспортировочные контейнеры из непрозрачного синего пластика, снабженные

на состояние мышей, о чем свидетельствует незначительное (на 3 %, 0,9 г) снижение массы тела. Животные полностью восстановились на 2-е сутки после перевозки.

Состояние животных после полетного и наземного контрольного экспериментов

В полетном эксперименте выжило 16 из 45 животных (36 %), в наземном контрольном эксперименте – 38 из 45 мышей (84 %). В связи с гибелью части мышей количество животных в виварных контрольных группах было уменьшено (табл. 6).

Причины гибели мышей были так или иначе связаны с системой подачи корма. Так, серьезная неисправность системы подачи корма в одном из блоков «БИОС-МЛЖ» была причиной гибели всех 15 мышей, содержащихся в нем. В то же время, в полете существенно изменилось поведение животных: в частности, до полета и в наземном контрольном

Таблица 5

Выполнение мышами критериев для включения в экспериментальные группы в ходе предполетного тестирования

Критерий	Полетная группа и соответствующая группа виварного контроля (П + ПВ)			Группа контрольного эксперимента и группа виварного контроля (К + KB)		
	да, п	нет, п	да, %	да, п	нет, п	да, %
Удовлетворительное качество сигнала АД	15	5	75	12	3	80
Произвольный бег в колесе более 3 км/сут	34	8	81	25	5	83
Более 95 % правильных реакций при выработке оперантного навыка к 3-м суткам обучения	39	3	93	28	2	93
Стабильность группы совместного содержания (клеток)	19	2	90	14	1	93

Таблица 6

Количество животных в экспериментальных группах

Группа	Исследования in vitro	Исследования in vivo
Полет (П)	11	5
Виварный контроль, синхронный полету (ПВ)	18	20
Наземный контрольный эксперимент (К)	16	9
Виварный контроль, синхронный наземному контрольному эксперименту (KB)	16	13

воздушными фильтрами (производства питомника «Пушино», Россия). Транспортировку проводили в несколько этапов авто- и авиатранспортом, ее общая продолжительность составила около 24 ч. Во время транспортировки животные имели доступ к пастообразному полетному корму.

Транспортировка не оказала негативного влияния

эксперименте мыши в клетках блоков «БИОС-МЛЖ» предпочитали находиться на решетке системы удаления отходов, а в полете они проводили большую часть времени вблизи кормушек или на них. Причины таких изменений в предпочтении места неясны. Интересно, что такие же изменения поведения мышей были отмечены в эксперименте MDS [12].

По-видимому, в полете части тела мышей попадали в движущиеся части кормушки во время процедуры их наполнения, что и привело к гибели некоторых особей. В пользу этого предположения свидетельствуют данные внешнего осмотра животных после полета. У 4 (25 %) мышей были обнаружены травмы конечностей, у 6 (38 %) – травмы хвоста. Важно отметить, что при испытаниях блока «БИОС-МЛЖ» травм и гибели животных не было. Это позволяет предполагать, что причины гибели животных связаны в первую очередь с изменениями их поведения в условиях микрогравитации.

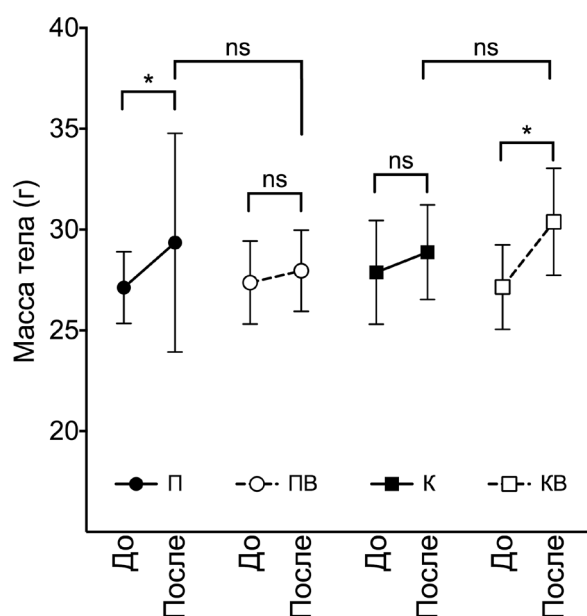


Рис. 2. Масса тела мышей до и после проведения экспериментов. Данные представлены в виде среднее $\pm$ стандартное отклонение.

* – $p < 0,05$, ns – отсутствие значимых отличий

При осмотре мышей на месте приземления (через 2–3 ч после возвращения) были обнаружены выраженные признаки дезадаптации моторной функции животных к условиям земной гравитации. Так, мыши не могли поддерживать нормальную позу (14 из 16, 88 %), двигательная активность отсутствовала практически полностью, при тестировании в пробе с падением мыши не переворачивались (6 из 6, 100 %). Восстановление двигательной активности происходило относительно быстро, и через 6–8 ч мыши передвигались по клетке и могли вставать на задние лапы. У всех мышей был отмечен экзофтальм. У 14 из 16 животных было отмечено избыточное выделение мочи.

Упитанность животных после полета существенно варьировала. Масса тела большинства

(12 из 16, 75 %) мышей была такой же или несколько выше, чем до полета, масса 3 мышей была на 30–40 % выше, а 1 животное было сильно истощено (масса тела на 50 % ниже, чем до полета). Однако в целом масса тела мышей экспериментальных групп значимо не различалась ($F(3,208) = 2,07$, $p = 0,1043$), более того, только 3 % общей вариабельности было обусловлено различиями между группами (рис. 2). Попарные сравнения массы тела животных разных групп до полета не выявили различий, за исключением того, что масса мышей группы ПВ была на 2,4 г меньше, чем мышей группы КВ ($p = 0,0012$, тест Сидака). При сравнении величин до и после экспериментов обнаружено, что масса тела увеличилась у мышей полетной группы (на 8 %, различия на грани значимости ($p = 0,062$) и высокосigni-фичны ($p = 0,0026$) при исключении из анализа значений для истощенной мыши), а также у мышей виварной группы, синхронной наземному контрольному эксперименту (на 11 %, $p < 0,0001$). В целом, фактор «время» оказывал существенное влияние на массу тела мышей ($F(1,208) = 22,57$, $p < 0,0001$). Таким образом, изменения массы тела основных экспериментальных групп в сравнении с группами виварного контроля в полетном и наземном экспериментах были противоположными. В полете мыши набрали больше веса, чем мыши группы ПВ, а в наземном контрольном эксперименте меньше, чем соответствующий виварный контроль (КВ). По-видимому, такие различия связаны с отсутствием физических нагрузок у мышей в условиях микрогравитации, а также относительно большим, чем в наземном контрольном эксперименте количеством корма на 1 мышью (в связи с гибелью части животных).

Закключение

Проект «Бион-М1» направлен на создание научной основы для разработки новых средств профилактики и коррекции негативного воздействия микрогравитации и других факторов КП на космонавтов. Актуальность этой задачи обусловлена планами организации экспедиций к другим планетам Солнечной системы и соответственно необходимостью обеспечения работоспособности космонавтов как во время длительного КП, так и при нахождении на других небесных телах. Для решения этой научной задачи программа биомедицинских исследований в проекте «Бион-М1» была сфокусирована на исследовании клеточных и молекулярных механизмов адаптации мышц, костей, сенсомоторной, сердечно-сосудистой и иммунной систем в ходе длительного КП и послеполетной реадaptации к воздействию гравитации.

Схема экспериментов для реализации обширной научной программы имела своей целью обеспечить получение качественных научных данных. Объектами исследований были выбраны самцы мышей линии C57/BL6 возрастом 4–5 мес. Животных, находившихся в 30-суточном полете на биоспутнике, обследовали сразу после возвращения и после 7-суточного периода реадaptации к земной гравитации. Для учета факторов, не связанных непосредственно с КП (условий среды обитания, сезонных факторов и т.д.), результаты анализировали в сопоставлении с показателями животных в наземном контрольном эксперименте, в котором были воспроизведены факторы среды обитания на биоспутнике, а также с данными полученными на животных, которых содержали в стандартных условиях вивария.

Важно отметить, что некоторые физиологические показатели мышей регистрировали на протяжении всего полета. Переход к сбору данных у мелких лабораторных грызунов на протяжении всего полета стал технически возможен в результате миниатюризации оборудования для научных исследований и адаптации его к использованию на мышах. Непрерывный сбор данных на протяжении всего полета, осуществленный впервые в полете биоспутника «Бион-М1», значительно повышает научную результативность полетных экспериментов с использованием мелких лабораторных животных.

Несмотря на преимущества использования мышей мужского пола в космических исследованиях (как с научной, так и с технической точки зрения), такой выбор объекта исследований несет в себе также и дополнительные риски, связанные с высокой агрессивностью зрелых самцов. Сложные условия КП, в том числе невозможность реализации нормального поведения в условиях микрогравитации, хирургические манипуляции с мышами до полета, питание пастообразным кормом, также являлись рисками для благополучия животных в эксперименте.

Минимизации рисков для благополучия животных и обеспечение получения качественных научных данных были основными целями программы подготовки мышей к экспериментам. Подготовка включала поддержание микробиологического статуса мышей (свободных от патогенной микрофлоры), коадаптацию в группах совместного содержания и отбор стабильных групп, адаптацию к стрессирующим воздействиям и питанию полетным кормом. Подготовка животных для прижизненных исследований включала также предполетное тестирование и обучение, по результатам которого были отобраны гомогенные по поведенческим и функциональным показателям животные.

К сожалению, неожиданные изменения поведения животных в условиях микрогравитации, технические неполадки и, по-видимому, неудачная конструкция кормушки стали причиной гибели значительной части животных. Очевидно, что при разработке блоков содержания мышей в будущем, следует исключить наличие подвижных элементов внутри камеры для животных.

Состояние животных после полета было в целом хорошим и, по мнению участников проекта, отвечало требованиям к животным, используемым в биомедицинских исследованиях. Таким образом, программу подготовки животных к полету следует признать в целом успешной.

Успех 1-го этапа реализации проекта очевиден. Впервые самцы мышей при групповом содержании были экспонированы в условиях микрогравитации в течение 30 сут на автоматическом космическом аппарате, был собран качественный биологический материал и уже получены первые данные исследований. Мы искренне надеемся, что анализ полученных данных позволит в полном объеме реализовать научные задачи проекта «Бион-М1».

Авторы выражают благодарность коллективу ООО «НИИ митотехнологии МГУ» и лично В.П. Скулачеву, М.В. Скулачеву и И.В. Скулачеву за помощь в организации подготовки мышей к экспериментам и выражают надежду на дальнейшее плодотворное сотрудничество. Мы благодарим Г. Гоклен-Кох, П. Обри, Ж. Лоре и М. Кусто (Национальный центр космических исследований Франции), А.О. Белгородского и его коллег (СКТБ «Биофизприбор») и А.И. Пахомова (ГНЦ РФ – ИМБП РАН), участвовавших в реализации гемодинамических измерений. Авторы благодарны сотрудникам ГНЦ РФ – ИМБП РАН Е.Н. Ярмановой и В.С. Седлецкому за неоценимый вклад и поддержку в критические моменты реализации проекта. Авторы признательны сотрудникам Курчатовского НБИКС-центра за участие в проекте. Мы благодарны Дж. Альбертсу (США) за плодотворное обсуждение программы прижизненных исследований с мышами. Авторы признательны Е.А. Лагеревой и Н.А. Бузину за заботливое отношение к мышам и рекордную скорость подготовки системы Phenomaster к проведению измерений.

Особая благодарность специалистам ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» за создание ракетно-космического комплекса «Бион-М» и безукоризненную работу техники на всех этапах ее эксплуатации.

Список литературы

1. Антипов В.В., Баевский Р.М., Газенко О.Г. и др. Некоторые итоги медико-биологических исследований на втором и третьем космических кораблях-спутниках // Проблемы космической биологии. М., 1962. Т. 1. С. 267–298.
Antipov V.V., Baevskiy R.M., Gazenko O.G. et al. Selected results of biomedical research on the second and third space satellites// Problems of space biology. 1962. Moscow, V. 1. P. 267–298.
2. Григорьев А.И., Ильин Е.А. Животные в космосе // Вестн. Рос. академии наук. М., 2007. Т. 77. № 11. С. 963–973.
Grigoriev A.I., Ilyin E.A. Animals in space // Vestnik Rossiiskoi akademii nauk. 2007. V. 77. № 11. P. 963–973.
3. Газенко О.Г., Георгиевский В.С. Подготовка животных к эксперименту // Проблемы космической биологии. М., 1962. Т. 1. С. 321–327.
Gazenko O.G., Georgievskiy V.S. Preparation of animals for the experiments // Problems of space biology. 1962. Moscow, V. 1. P. 321–327.
4. Серова Л.В., Ильин Е.А., Носкин А.Д. и др. Условия проведения эксперимента, отбор и подготовка животных // Влияние динамических факторов космического полета на организм животных. М., 1979. С. 7–12.
Serova L.V., Ilyin E.A., Noskin A.D. et al. Experimental requirements, selection and preparation of animals // Influence of dynamic spaceflight conditions on the organism of animals. 1979. Moscow, P. 7–12.
5. Яздовский В.И. На тропях Вселенной. Вклад космической биологии и медицины в освоение космического пространства. М., 1996.
Yazdovskiy V.I. On the crossroads of the Universe. Contribution of space biology and medicine to space exploration. Moscow, 1996.
6. Aviles H., Belay T., Fountain K. et al. Increased susceptibility to *Pseudomonas aeruginosa* infection under hindlimb-unloading conditions // J. Appl. Physiol. 2003. V. 95. № 1. P. 73–80.
7. Baqai F.P., Gridley D.S., Slater J.M. et al. Effects of spaceflight on innate immune function and antioxidant gene expression // Ibid. 2009. V. 106. № 6. P. 1935–1942.
8. Behnke B.J., Stabley J.N., McCullough D.J. et al. Effects of spaceflight and ground recovery on mesenteric artery and vein constrictor properties in mice // FASEB J. 2013. V. 27. № 1. P. 399–409.
9. Bouwknecht J.A., Hijzen T.H., van der Gugten J. et al. Stress-induced hyperthermia in mice: effects of flesinoxan on heart rate and body temperature // Eur. J. Pharmacol. 2000. V. 400. № 1. P. 59–66.
10. Burgess C., Dubbs C. Animals in Space. From Research Rockets to the Space Shuttle. Springer, 2007.
11. Bushnell P.J. Advanced behavioral testing in rodents: assessment of cognitive function in animals // Curr. Protoc. Toxicol. 2001. V. 11. Unit 11.4.
12. Cancedda R., Liu Y., Ruggiu A. et al. The Mice Drawer System (MDS) Experiment and the Space Endurance Record-Breaking Mice // PLoS ONE. 2012. V. 7. № 5. P. e32243.
13. Carola V., D'Olimpio F., Brunamonti E. et al. Evaluation of the elevated plus-maze and open-field tests for the assessment of anxiety-related behavior in inbred mice // Behav. Brain Research. 2002. V. 134. № 1. P. 49–57.
14. Drude S., Geißler A., Olfe J. et al. Side effects of control treatment can conceal experimental data when studying stress responses to injection and psychological stress in mice // Lab. Animal. 2011. V. 40. № 4. P. 119–128.
15. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes. Strasbourg, 18.III.1986.
16. FELASA. Euroguide On the Accommodation and Care of Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes. Royal Society of Medicine Press Ltd, 2007.
17. Festing M.F. The design of animal experiments. The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory and Other Research Animals. Wiley-Blackwell, 2010. P. 23–36.
18. Gariépy J.-L., Rodriguiz R.M., Jones B.C. Handling, genetic and housing effects on the mouse stress system, dopamine function, and behavior // Pharmacol. Biochem. Behav. 2002. V. 73. № 1. P. 7–17.
19. Gould T.D., Dao D.T., Kovacsics C.E. The Open Field Test // Neuromethods. 2009. V. 42. № 1. P. 1–20.
20. Gridley D.S., Mao X.W., Stodieck L.S. et al. Changes in Mouse Thymus and Spleen after Return from the STS-135 Mission in Space // PLoS ONE. 2013. V. 8. № 9. P. e75097.
21. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. National Academies Press, 2010.
22. Howard B.R. Control of variability // ILAR J. 2002. V. 43. № 4. P. 194–201.
23. Hurst J.L., West R.S. Taming anxiety in laboratory mice // Nat. Meth. 2010. V. 7. № 10. P. 825–826.
24. Ilyin E.A. Historical overview of the Bion project // J. Gravit. Physiol. 2000. V. 7. № 1. P. S1–S8.
25. Kurtz T.W. Recommendations for Blood Pressure Measurement in Humans and Experimental Animals: P. 2: Blood Pressure Measurement in Experimental Animals: A Statement for Professionals From the Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Council on High Blood Pressure Research // Hypertension. 2005. V. 45. № 2. P. 299–310.
26. Makowiecki K., Hammond G., Rodger J. Different Levels of Food Restriction Reveal Genotype-Specific Differences in Learning a Visual Discrimination Task // PLoS ONE. 2012. V. 7. № 11. P. e48703.
27. Malkki H.A.I. Appetitive operant conditioning in mice: heritability and dissociability of training stages // Front. Behav. Neurosci. 2010. V. 4. P. 171.
28. Masini M.A., Albi E., Barro C. et al. The Impact of Long-Term Exposure to Space Environment on Adult Mammalian Organisms: A Study on Mouse Thyroid and Testis // PLoS ONE. 2012. V. 7. № 4. P. e35418.
29. Maurissen J.P.J., Marable B.R., Andrus A.K., Stebbins K.E. Factors affecting grip strength testing // Neurotoxicol. and Teratol. 2003. V. 25. № 5. P. 543–553.
30. Pecaut M.J., Nelson G.A., Peters L.L. et al. Genetic models in applied physiology: selected contribution: effects

of spaceflight on immunity in the C57/bl6 mouse. I. Immune population distributions // J. Appl. Physiol. 2003. V. 94. № 5. P. 2085–2094.

31. Rogers D., Peters J., Martin J. et al. SHIRPA, a protocol for behavioral assessment: validation for longitudinal study of neurological dysfunction in mice // Neurosci. Lett. 2001. V. 306. P. 89–92.

32. Schneider I., Tirsch W.S., Faus-Keßler T. et al. Systematic, standardized and comprehensive neurological phenotyping of inbred mice strains in the German Mouse Clinic // J. Neurosci. Meth. 2006. V. 157. № 1. P. 82–90.

33. Shlyk G.G., Shirvinskaya M.A., Stekolin I.Y. et al. General and special training of rhesus monkeys flown on Bion biosatellites // J. Gravit. Physiol. 2000. V. 7. № 1. P. S75–S9.

34. The Neurolab Spacelab mission: neuroscience research in space: results from the STS-90, Neurolab Spacelab mission. National Aeronautics and Space Administration, Lyndon B. Johnson Space Center, Houston, 2003.

35. Bogaert van M.J.V., Groenink L., Oosting R.S. et al. Mouse strain differences in autonomic responses to stress // Genes Brain Behav. 2006. V. 5. № 2. P. 139–149.

36. Van Loo P.L.P., Van Zutphen L.F.M., Baumans V. Male management: coping with aggression problems in male laboratory mice // Lab. Animals. 2003. V. 37. № 4. P. 300–313.

37. Wilson J.W., Ott C.M., Quick L. et al. Media Ion Composition Controls Regulatory and Virulence Response of Salmonella in Spaceflight // PLoS ONE. 2008. V. 3. № 12. P. e3923.

Поступила 3.03.2014

EXPERIMENTAL STUDIES WITH MICE ON THE PROGRAM OF THE BIOSATELLITE BION-M1 MISSION

Andreev-Andrievsky A.A., Shenkman B.S., Popova A.S., Dolguikh O.N., Anokhin K.V., Soldatov P.E., Ilyin E.A., Sychev V.N.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 1. P. 14–27

Purpose of the BION-M1 project was laying the evidence and technological basis for addressing the medical issues of future remote space exploration missions by humans. The program of researches with the use of mice was focused on elicitation of cellular and molecular mechanisms of the muscular, cardiovascular and immune reactions to extended exposure in microgravity. The comprehensive studies combined lifetime measurements with investigations of mice tissues and cells by dint of the cutting-edge morphological, biochemical and molecular biology techniques.

Males of mice C57/BL6 aged 4 to 5 months were chosen as the object of studies. They were distributed into the flight, ground control and two vivarium (laboratory control) groups and investigated immediately on return and after 7 days of readaptation. Some of the physiological functions were recorded throughout the flight.

To ensure wellbeing of the animals in the experiments and to enhance data quality, prior to launch the mice were specially trained so as to accommodate to the group living, eating space food, and in-flight stress factors. Those of the mice that were designated for lifetime investigations were tested and received training pre-launch.

Key words: biosatellite, microgravity, mice.

УДК 613.693+616-003.96:612.812.7

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ НОЧНОГО СНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ 520-СУТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Завалко И.М.¹, Боритко Я.С.¹, Ковров Г.В.², Виноходова А.Г.¹, Чекалина А.И.¹, Смолевский А.Е.¹

¹Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва

²Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова
e-mail: ilrus@mail.ru

Целью данной работы явилось выявление взаимосвязи особенностей изменения сна с индивидуальными стратегиями адаптации к стрессовым условиям 520-суточной изоляции.

На основании психологического тестирования с применением мотивационных тестов и теста Люшера в интерпретации Л.Н. Собчик, данных методики «Зеркальный координограф» были выявлены группы с различными

типами реагирования на стресс – «контроль» (1-я) и «поиск» (2-я), проявившимися в индивидуальных стилях поведения и операторской деятельности. Динамика показателей структуры ночного сна у данных групп была различна. Трудности с засыпанием у обследуемых 1-й группы возникали накануне «высадки на Марс» и окончания эксперимента, в то время как у обследуемых 2-й группы – только перед окончанием эксперимента. Одновременно микро- и сегментарная структура сна была более стабильна у обследуемых 1-й группы, что свидетельствует о сохранности сомногенных механизмов, несмотря на наличие трудностей инициации сна.

Ключевые слова: эксперимент «Марс-500», индивидуальные стили поведения и деятельности, профессиональная операторская деятельность, полисомнография, сон.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 1. С. 27–39.

Как известно, нарушения сна – одна из наиболее частых жалоб, предъявляемых космонавтами [1, 2]. В литературе описаны трудности засыпания, поверхностный сон с частыми пробуждениями и т.д. [3–6]. Ряд наземных экспериментов с изоляцией, проведенных в ГНЦ РФ – ИМБП РАН, продемонстрировал сходные изменения структуры ночного сна [7–11]. Так, выявлено удлинение латенции сна, уменьшение продолжительности глубокого дельта- и быстрого сна, общей длительности ночного сна. Целью ранних экспериментов с изоляцией было моделирование монотонии, поэтому они имели однородную структуру. В настоящее время длительные космические полеты включают множество значимых событий: экспедиции посещения, смены экипажа, прибытие грузовых кораблей, внекорабельная деятельность и т.д. Впервые подобная ситуация была смоделирована в эксперименте HUBES-94 (135-суточная изоляция). В середине эксперимента проводилось дооснащение. По данным автора работы [12], это событие привело к выраженным изменениям психологического состояния (по результатам опросника POMS). Следующим экспериментом с подобной структурой явился «Марс-500» (наземное моделирование межпланетного пилотируемого космического полета). Помимо сверхдлительности (520-суточной изоляции) данный эксперимент отличался наличием ответственного этапа работ по моделированию высадки на другую планету [13]. Это позволило выявить не только описанные ранее изменения, но и изучить влияние значимых событий на структуру ночного сна: показано, что сон обследуемых ухудшался преимущественно накануне таких событий (моделирование высадки на Марс и окончание эксперимента) [14].

Под структурой сна в данном исследовании и во всех исследованиях, приводимых в литературе, подразумеваются результаты стандартного

объективного метода – полисомнографии. Единые международные правила расшифровки полисомнограмм и подсчета параметров структуры ночного сна были впервые сформулированы в 1969 г. [15] и переработаны в 2007 г. [16].

В ряде экспериментов показана различная выраженность влияния острого стресса на сон здоровых обследуемых в зависимости от их личностной типологии. Можно выделить группу лиц, чей сон больше подвержен нарушениям под воздействием стресса различной модальности [17]. Также показано, что острый эмоциональный стресс в большей степени влияет на сон лиц с «неадаптивными» (пассивными) копинг-стратегиями и повышенным уровнем тревожности, а при адаптации к условиям сомнологической лаборатории напротив, в большей степени изменяется структура сна обследуемых с «адаптивными» стратегиями [18].

Приведенные данные позволяют предположить, что воздействие длительной изоляции в сочетании с ожиданием значимых событий в эксперименте «Марс-500» может по-разному повлиять на ночной сон обследуемых с различными личностными особенностями.

Изучение индивидуально-психологических особенностей и стратегий выполнения сложных операторских задач («Пилот-1» и VIRTU) в эксперименте «Марс-500» позволило выделить 2 индивидуальных стиля деятельности (ИСД) – «контроль» (1-я группа) и «поиск» (2-я группа), связанных с различными стратегиями адаптации (копинг-стратегии) к стрессовым ситуациям [19]. У участников эксперимента были выявлены личностные особенности, предрасполагающие к поведению того или другого рода (доминирование мотиваций «ориентация на успех» или «избегание ошибок»). Анализ этих данных, совместно с результатами выполнения методики оценки особенностей психофизиологической устойчивости к стрессу «Зеркальный координограф», не только показал, что выявленные ИСД проявляются как при выполнении сложных профессиональных задач, так и более простых видов деятельности, но и продемонстрировал характерные различия способности к саморегуляции у обследуемых с данными типами ИСД [20].

Целью работы было изучение взаимосвязи характера изменений структуры ночного сна и личностно-обусловленными индивидуальными стратегиями адаптации к стрессорным условиям длительной изоляции.

Методика

Исследование проводили в эксперименте с длительной изоляцией «Марс-500», состоявшемся в 2010–2011 гг. в ГНЦ РФ – ИМБП РАН. В эксперименте принимал участие международный экипаж,

состоявший из 6 человек (3 россиянина, 2 представителя Европейского космического агентства и 1 представитель Китайского космического агентства) в возрасте от 25 до 40 лет.

(г. Зеленоград). Расположение датчиков, а также идентификация фаз и стадий сна соответствовали последним рекомендациям Американской ассоциации по медицине сна [16].

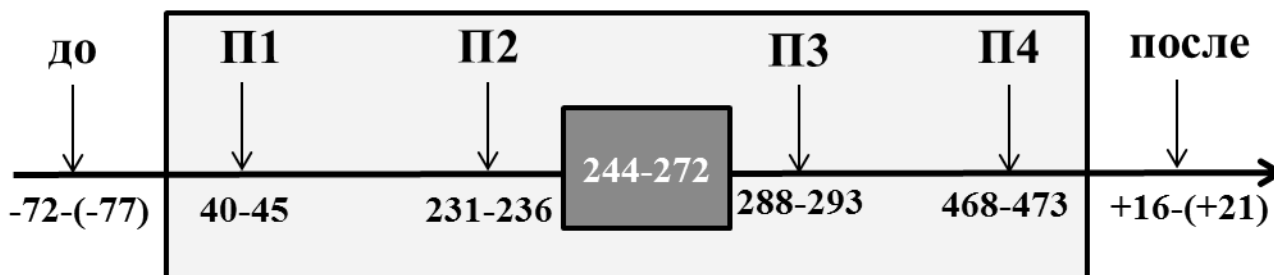


Рис. 1. На диаграмме временной развертки моделируемых событий эксперимента светло-серым оттенком выделен период нахождения испытуемых внутри модели космического корабля, темно-серым – период «высадки на Марс», цифрами обозначен отсчет дней от начала изоляции, стрелки указывают на периоды проведения регистрации ночного сна.

Здесь и на рис. 2, 3 за 10 нед до эксперимента (до), через 6 нед (П1), 33 нед (П2), 41 нед (П3), 67 нед после начала изоляции и через 2 нед после окончания изоляции (после)

В ходе эксперимента моделировали следующие основные факторы межпланетного полета: изоляцию экипажа в ограниченном объеме модели космического корабля; автономность; ограничение связи и коммуникации (симуляция задержки связи). В середине 520-суточного эксперимента (на 244–272-е сутки) проводили моделирование высадки на Марс, явившееся значимым событием для экипажа.

Регистрацию ночного сна (полисомнографию) после обучения методике обследуемые осуществляли самостоятельно. Исследование ночного сна проводили в фоновый период (за 10 нед до начала изоляции – до), 4 раза во время изоляции (на 40–45, 231–236, 288–193 и 468–473-и сутки) и через 2 нед после окончания изоляции (после). В каждый период у каждого обследуемого полисомнографию выполняли последовательно в течение 2 ночей. Как показано на рис. 1, во время изоляции записи проводили в начале и конце этапов «полета к Марсу» и «возвращения на Землю»: 1-ю регистрацию осуществляли через 6 нед после начала изоляции (П1), 2-ю – примерно за 2 нед до начала «высадки на Марс» (П2), 3-ю – через 2 нед после окончания марсианской части эксперимента (П3), 4-ю – за 6 нед до окончания изоляции (П4) (рис.4).

Исследования начинали в желаемое для обследуемого время отхода ко сну и непрерывно продолжали всю ночь до спонтанного утреннего пробуждения. Регистрацию окулограммы, миограммы и 6 каналов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) осуществляли при помощи полисомнографов «Нейрософт» (г. Иваново) и «Нейроботикс»

При анализе структуры ночного сна использовали следующие параметры:

- время в кровати – промежуток от выключения света до окончания записи;
- латенцию сна – интервал от выключения света до возникновения первой 30-секундной эпохи сна (засыпания);
- латенцию дельта-сна – время от засыпания до 1-й эпохи дельта-сна;
- латенцию быстрого сна (БС) – время от засыпания до первой эпохи БС;
- общее время сна – суммарная длительность всех стадий медленного (1-я, 2-я стадии и дельта-сон) и БС;
- эффективность сна – процент общего времени сна от времени в кровати;
- процент 1-й, 2-й стадий, а также дельта-сна и БС – процент соответствующей стадии или фазы от общего времени сна;
- бодрствование внутри сна – длительность бодрствования в период от момента засыпания до окончания записи;
- индекс реакций ЭЭГ-активаций (РЭЭГА) – общее количество РЭЭГА (возникающее из состояния устойчивого сна неожиданное изменение частотных характеристик ЭЭГ в сторону альфа-, тета- или бета-диапазона (до 16 Гц) продолжительностью 3 с или больше) за время записи, деленное на общее время сна в часах;
- количество сегментов за 1 ч сна – общее количество сегментов (сегмент – непрерывный участок любой стадии или фазы сна [8]), деленное на общее время сна в часах.

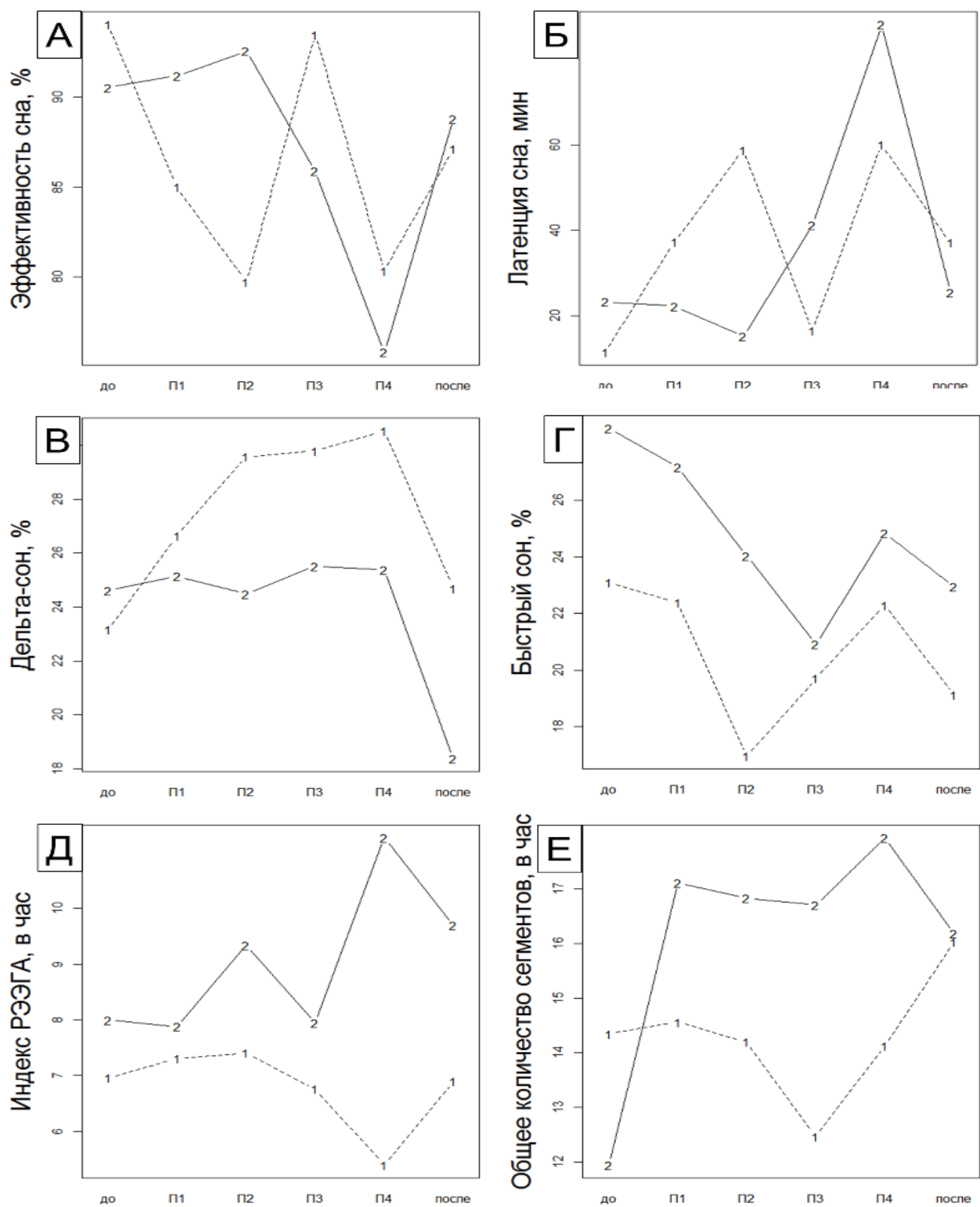


Рис. 2. Средние значения показателей структуры ночного сна.
Обозначения на диаграммах: на оси абсцисс координаты точек задаются временными отрезками соответственно периодам наблюдений; 2) график 1 (пунктирная линия) отражает величины для обследуемых 1-й группы; график 2 (сплошная линия) – для 2-й группы

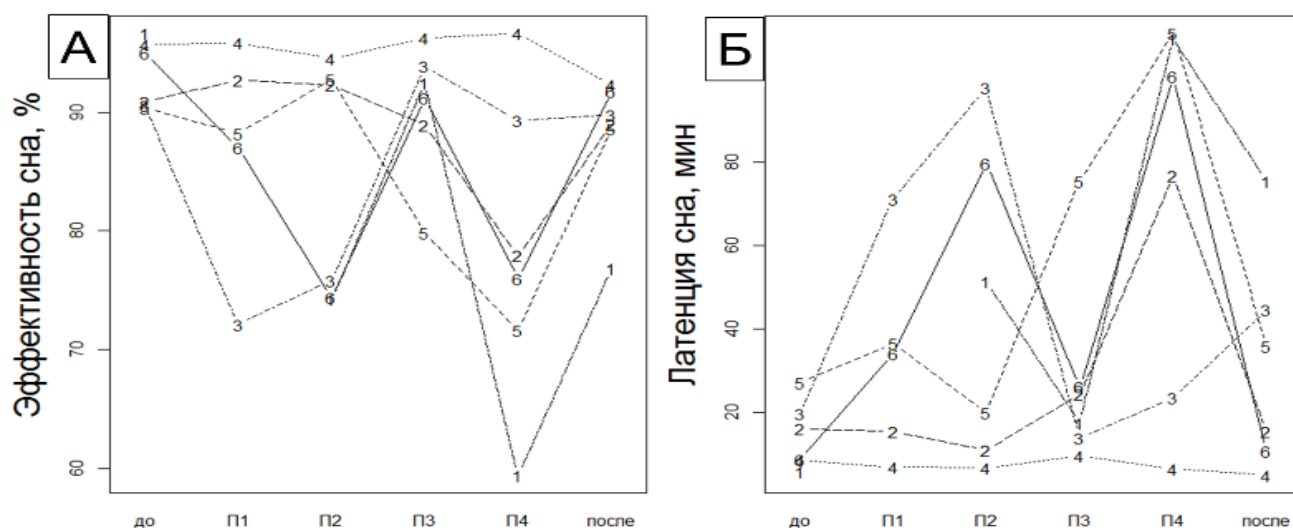


Рис 3. На диаграмме представлены средние значения показателей структуры ночного сна: 1 – обследуемый А; 2 – обследуемый В; 3 – обследуемый С; 4 – обследуемый D; 5 – обследуемый Е; 6 – обследуемый F

Для выявления индивидуально-психологических особенностей стратегий адаптации к стрессорным условиям использовали комплекс психодиагностических методик (мотивационные тесты А.А. Реана и А. Мехрабиана, а также тест М. Люшера в адаптации Л.Н. Собчик) [21].

Для оценки индивидуальной стрессоустойчивости обследуемых использовали компьютеризированный вариант методики «Зеркальный координатный граф», входящий в комплекс психофизиологических тестов BioMouse [22]. Исследование проводили после окончания изоляции. Методика является имитацией сложноорганизованной деятельности, вызывающей у обследуемого в ходе ее выполнения перцептивно-моторный конфликт. Она позволяет оценить не только эффективность выполнения деятельности в осложненных условиях, вызывающих стресс, но и ее физиологическую «цену» [23, 24].

В ходе тестирования обследуемому предлагается при помощи компьютерной мыши максимально быстро провести курсор по отображаемому на мониторе компьютера сложному криволинейному коридору, не касаясь его краев. Дополнительное условие задачи – инверсия управления в горизонтальном направлении, т.е. перемещение курсора вправо осуществляется движением мыши влево и наоборот, – усложняет ее выполнение. При касании курсором краев контура возникает эффект «прилипания» курсора к стенке, сопровождающийся продолжительным раздражающим звуковым сигналом, вызывающим стресс у обследуемого.

Данная методика основана на изучении уровня активации симпатической нервной системы и оценки нейропсихического напряжения посредством измерения кожно-гальванической реакции (КГР).

Оценка строится на анализе динамики электрокожного сопротивления (ЭКС). Так, согласно теории генеза КГР, активация психомоторных функций (концентрация) вызывает обильное выделение пота, приводящее к снижению сопротивления кожи. Обратный процесс (релаксация) сопровождается снижением потоотделения – сопротивление кожи растет.

Все исследования проводили в соответствии с требованиями биомедицинской этики [25]. Данные обрабатывали в программе R, версия 2.15.1.

Сначала с использованием теста Шапиро – Уилкса выявляли показатели структуры ночного сна, распределение которых статистически значимо ($p < 0,05$) отличалось от нормального. Для этих параметров использовали стандартные процедуры [26] приведения к нормальному распределению: 1) для параметров с распределением, скошенным вправо (латенция сна, латенция дельта-сна, бодрствование после засыпания), проводили логарифмирование с предварительным прибавлением константы (формула $\log(\text{параметр} + 1)$); 2) для параметров с распределением, скошенным влево (эффективность сна) использовали формулу $\log(100 - \text{параметр})$; 3) для общего времени сна применяли метод возведения в квадрат. Такая процедура необходима для правомерности использования параметрических тестов, в частности дисперсионного анализа [26].

Сравнение параметров ночного сна проводили между 6 периодами (следовательно, сравнивали более 2 выборок) при помощи метода, наиболее соответствующего структуре данных, – дисперсионного анализа (ANOVA) для повторных измерений [26]. Для каждого измерения парой был аналогичный параметр того же обследуемого в ту же (1-ю или 2-ю из последовательных регистраций) ночь.

С целью выявления различий в динамике показателей ночного сна в выделенных нами группах в различные периоды эксперимента использовали серию дисперсионных анализов 2×6 (группа $\times$ период эксперимента) для повторных измерений. Зависимыми переменными выступали параметры структуры ночного сна. Внутригрупповым фактором выступал период эксперимента, межгрупповым – группа обследуемых. Для анализа динамики показателей ночного сна в 2 группах использовали показатель взаимодействия факторов (период эксперимента и группа обследуемых), поскольку целью анализа было выявление различий в динамике параметров сна, а не конкретных значений в различные периоды эксперимента.

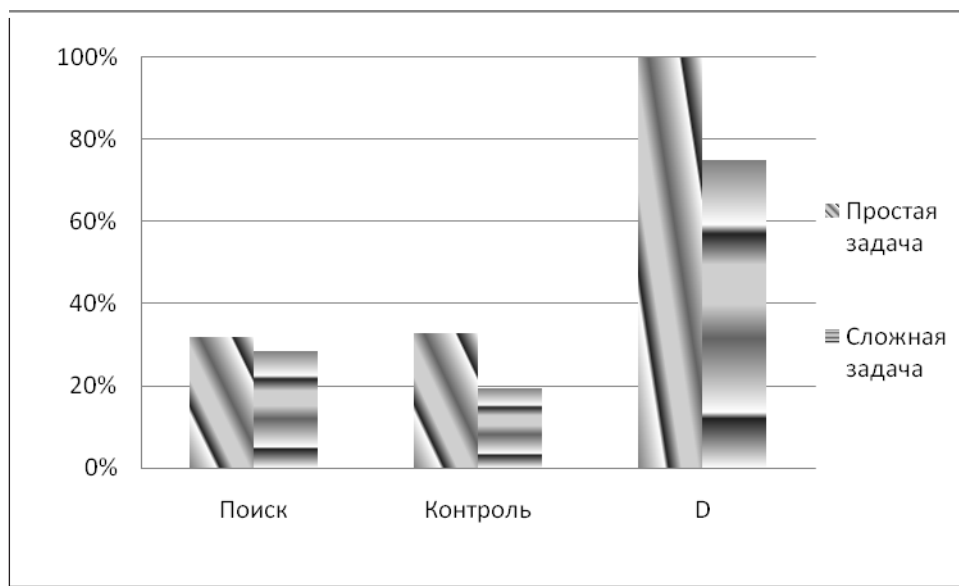


Рис. 4. На диаграмме представлена успешность выполнения операторской деятельности (задачи VIRTU). По оси абсцисс представлены группы с преобладающими ИСД по типу «контроль» и «поиск» и испытуемый D, чьи показатели не укладывались в общую картину выявленных закономерностей. По оси ординат представлен процент успешно выполненных простых и сложных задач за все сессии

Для выявления особенностей сна отдельно для 1-й и 2-й групп в различных периодах эксперимента (до, П1 и т.д.) также использовали ANOVA для повторных измерений. При обнаружении статистически значимых отличий или тенденции попарное сравнение групп проводили с помощью одного из вариантов Post Hoc анализа – теста Тьюки [26].

Необходимо отметить, что малая выборка (6 обследуемых, разделенных на группы по 2 и 4, что соответствует 4 и 8 измерениям в каждый период эксперимента) не позволяет однозначно распространить полученные результаты на общую популяцию, а полученные результаты характеризуют только конкретную группу операторов.

Результаты и обсуждение

На основании результатов исследования индивидуально-психологических особенностей (мотивационные тесты А.А. Реана и А. Мехрабиана, а также тест М. Люшера) и результатов выполнения операторских задач различной сложности («Пилот-1», VIRTU и «Зеркальный координограф») обследуемые распределились на 2 группы с различными проявляющимися ИСД стратегиями адаптации к стрессорным условиям: 1-я группа ИСД – «контроль» (А, С, D, F) и 2-я группа ИСД – «поиск» (В, Е). В каждой группе присутствовали российские и зарубежные члены экипажа, а также обследуемые, участвовавшие в «высадке на Марс» и остававшиеся в «орбитальном комплексе».

Использованные мотивационные тесты выявили средневысокий уровень мотивации достижения у обследуемых обеих групп. Результаты цветового теста Люшера в интерпретации Л.Н. Собчик позволили уточнить доминирующую мотивацию. Так, у обследуемых 1-й группы была выявлена ведущая потребность «избегание неудач» [21]. Согласно работе [27], личности с этим типом мотивации характеризуются высоким уровнем защиты (страхом перед несчастными случаями, ошибками и т.д.). Мотивация «избегание неудач» приводит к возникновению тревожности, усиливающейся в стрессовых условиях значимых событий, которыми для данного типа личности являются любые поставленные перед ними задачи [28]. Это описание подтверждают полученные нами данные теста Люшера, согласно которому у данной группы уровень тревожности на протяжении всего эксперимента был выше, чем у операторов 2-й группы.

Согласно работе [29], для личностей с мотивацией «избегание неудач» в стрессовых ситуациях характерно желание избежать чувства вины за предпринятые недостаточные усилия при решении задач и ответственности за допущенные ошибки. Поэтому они тратят значительные психофизиологические ресурсы на контроль условий и результатов своей деятельности, чтобы избежать чрезмерного риска и сопутствующих ему ошибок. Проявлением

Таблица 1

Показатели электрокожного сопротивления при выполнении методики «Зеркальный координограф»

Группы		1-я попытка		2-я попытка		3-я попытка		ΔЭКС, %
		ЭКС ₁	ЭКС ₂	ЭКС ₁	ЭКС ₂	ЭКС ₁	ЭКС ₂	
Контроль	A	73	50	44	41	44	37	22
	C	116	52	95	47	91	43	72
	D	299	155	212	137	209	127	52
	F	108	58	73	46	59	43	45
Поиск	B	446	313	329	232	210	200	25
	E	187	144	139	114	123	106	20

данной мотивации в ИСД является стремление контролировать все параметры задачи, условия и результат деятельности, сопровождающееся высоким уровнем мобилизации функциональных резервов для поддержания постоянного уровня бдительности [19]. В эксперименте «Марс-500» операторы, стремящиеся избежать неудачи, продемонстрировали высокую надежность выполнения задач наряду с высокими затратами ресурсов как самого оператора (физиологическая «цена деятельности»), так и управляемой системы. Результаты выполнения профессиональных задач были подкреплены данными задачи «Зеркальный координограф», где для 1-й группы также был характерен высокий уровень мобилизации (табл. 1), который проявлялся как в низких предстартовых значениях электрокожного сопротивления (показатель ЭКС₁), так и в значительном его снижении в ходе выполнения операторской деятельности (ΔЭКС 45 % и более).

Согласно Л.Н. Собчик, на основании цветового теста Люшера у обследуемых 2-й группы была выявлена доминирующая мотивация «достижение успеха». Как показали авторы работы [30], личности с данным типом мотивации стремятся к решению необычных сложных, сопряженных с определенным риском задач, позволяющих улучшать свои результаты в ходе выполнения работ (достигать поставленных целей более эффективно, чем прежде) и предоставляющих возможности для соревнования. Успех в достижении поставленных, причем ими самими, целей приводит к удовлетворению данной потребности и получению удовлетворения от сделанного. Личности подобного типа отличаются более низким уровнем тревожности (что также было подтверждено данными теста Люшера).

В процессе постановки перед собой целей личности с доминирующей мотивацией «достижение успеха» ориентируются на новизну, ища новые варианты решения стандартных задач. Риск, на который они идут в своем поиске оптимальных

вариантов решения, проявляется в динамичном периодическом снижении уровня контроля различных параметров и результата деятельности [27]. В эксперименте выполнение профессиональных операторских задач сопровождалось у них большей неустойчивостью надежности деятельности на фоне невысоких затрат физиологических резервов и ресурса управляемой системы [19]. Выполнение методики «Зеркальный координограф» сопровождалось меньшим по сравнению с 1-й группой снижением ЭКС (ΔЭКС 20 %), что свидетельствует о меньшем уровне психофизиологического напряжения. Уровень предстартового напряжения (ЭКС₁) у обследуемых 2-й группы также был ниже. Успешность выполнения зачетной попытки «Зеркального координографа» в среднем была на одном уровне у обследуемых обеих групп, в то время как «физиологическая цена» этой деятельности у 2-й группы оказалась значительно ниже, – это свидетельствует о большей способности к саморегуляции у данной группы.

Эффективность, латенция сна и длительность бодрствования. Динамика эффективности сна по периодам эксперимента значимо различалась у выделенных групп ($p < 0,05$). Различия по показателю латенции сна не достигали уровня статистической значимости ($p = 0,108$), но имели сходную динамику. Продолжительность бодрствования не имела различий ни в динамике показателей между группами, ни по периодам эксперимента внутри групп; на протяжении эксперимента отмечались лишь единичные ночи с длительными ночными пробуждениями, не выливающиеся в общую закономерность. Как показано на рис. 2, А, Б во время фоновой регистрации латенция и эффективность сна обеих групп были на одном уровне. В течение первой половины эти параметры у 2-й группы практически не изменялись, а у 1-й группы происходило их ухудшение (удлинение латенции сна и снижение эффективности сна), достигавшее наибольшей выраженности на 231–236-е сутки эксперимента (в преддверии «высадки на Марс»).

Таблица 2

Различия показателей структуры ночного сна в 1-й группе

Исследуемые показатели	До, N = 6	П1, N = 6	П2, N = 8	П3, N = 8	П4, N = 8	После, N = 7	ANOVA	Post-hoc Анализ, p < 0,05
Общее время сна, мин	382,5 [372,9–400]	354 [309,9–385,8]	288 [255,5–385,8]	375,8 [334,5–429,6]	359,5 [316,4–397,2]	410 [309,2–457]	NS	
Время в кровати, мин	407,3 ± 33	411,3 ± 59,6	392,4 ± 69,2	396,4 ± 69,7	419,7 ± 45,5	435,9 ± 115,3	NS	
Латенция сна, мин	9 [7,4–12,9]	21 [9,1–46]	58,5 [9,4–95,9]	13,5 [10,4–18,9]	53 [13,4–93,6]	11 [8,5–46,8]	NS	
Латенция дельта-сна, мин	18 [15,6–22,3]	18 [13,6–36,6]	15,3 [13,0–22,6]	14,5 [12,3–16,8]	12,3 [9,5–16,8]	14 [12–29,3]	p < 0,05	П4 vs П1
Латенция БС, мин	88,3 ± 23,8	84,5 ± 36,8	100,8 ± 40,1	77,1 ± 37,4	66,6 ± 14,6	72,1 ± 56	NS	
Эффективность сна, %	95,2 [92,2–95,9]	88 [81,9–94,5]	77,1 [73,6–88,8]	84,0 [92,3–94,7]	82,9 [72,4–92,8]	91,3 [87,4–93,2]	p < 0,01	П2 vs до П2 vs П3 П3 vs П4
1-я стадия, %	6,7 ± 2,3	5,9 ± 2,4	7,2 ± 1,9	6,1 ± 2,1	6,8 ± 2,2	7,1 ± 1,7	NS	
2-я стадия, %	47 ± 6	45,1 ± 11	46,2 ± 5,7	44,4 ± 11,2	40,4 ± 8	49,1 ± 5,6	NS	после vs до после vs П1 после vs П2 после vs П4
3-я стадия, %	23,2 ± 4,3	26,7 ± 13,4	29,6 ± 8,7	29,8 ± 7,5	30,5 ± 7,3	24,7 ± 6,7	NS	
БС, %	23,1 ± 4,5	22,4 ± 3,3	17 ± 4,2	19,7 ± 9,3	22,3 ± 4	19,1 ± 6,3	NS	
Бодрствование, мин	10,3 [8,4–15,9]	11,5 [9–26,4]	10,5 [9,3–15,5]	9,8 [5,6–11,6]	15,3 [11,5–22,4]	10,5 [9,8–23,5]	NS	
Индекс активаций в час	7 ± 2,5	7,3 ± 1,9	7,4 ± 1,3	6,8 ± 1,7	5,4 ± 2,3	6,9 ± 1,9	NS	
Количество сегментов в час	14,3 ± 2,6	14,6 ± 2,9	14,2 ± 2,9	12,5 ± 2,4	14,1 ± 2,3	16 ± 3,4	NS	

Примечание. Здесь и табл. 3 показатели структуры сна обследуемых до эксперимента (до), через 6 нед (П1), 33 нед (П2), 41 нед (П3), 67 нед (П4) после начала изоляции и через 2 нед после окончания изоляции (после). Данные представлены выборочными значениями показателей (среднее ± стандартное отклонение) при принятии гипотезы о нормальном законе распределения показателей, или (медиана [25–75 %-ный квартиль]) для показателей, имеющих распределение, отличное от нормального.

Динамика эффективности и латенции сна у групп была различна в период после окончания «высадки на Марс»: у 1-й группы они возвращались к фоновым значениям, а у 2-й группы происходило ухудшение этих параметров. За 1,5 мес до окончания изоляции у обеих групп наблюдался пик снижения качества сна, однако у 2-й группы он более выражен. В период последствий латенция сна снижалась, а эффективность сна увеличивалась, но не достигала фоновых значений у обеих групп. Такую динамику подтверждает и анализ данных показателей отдельно в каждой группе (табл. 2, 3): в то время как у обследуемых 1-й группы эффективность сна была значимо ниже в преддверии «высадки на Марс» и окончания эксперимента, у обследуемых 2-й группы было выявлено снижение эффективности сна в точке П4 по сравнению со всеми другими этапами эксперимента, а показатели накануне «высадки на Марс» были даже лучше, чем после ее завершения.

Таким образом, длительность засыпания и эффективность сна у обследуемых обеих групп ухудшались в преддверии окончания эксперимента, в то время как у 1-й группы аналогичные проблемы возникали и накануне симуляции «высадки на Марс».

Общее время сна и время в кровати. Динамика общего времени сна у лиц обеих групп различалась на уровне тенденции, а по показателю времени в кровати статистически значимых различий выявлено не было. Первая группа отличалась большей стабильностью этих показателей, хотя период, отводимый на ночной сон, несколько возрастал в точке П4 и в период последствий, а продолжительность ночного сна снижалась в преддверии значимых событий (см. табл. 2). Вторая группа имела более выраженные колебания обоих параметров в течение эксперимента, а именно: более длительный ночной сон на 40–45-е сутки изоляции по сравнению с фоновой записью и периодом П3, а также увеличение продолжительности пребывания в кровати

Таблица 3

Различия показателей структуры ночного сна во 2-й группе

Исследуемые параметры	До, N = 3	П1, N = 3	П2, N = 4	П3, N = 3	П4, N = 3	После, N = 4	ANOVA	Post-hoc анализ, p < 0,05
Общее время сна, мин	345 [325–345,8]	415 [414,5– 433,2]	403,2 [391,8–418,5]	366,5 [316,8–376,8]	353,5 [310,2–392,5]	390,5 [358,2–435,1]	p < 0,1	П3 vs П1
Время в кровати, мин	367 ± 27,5	468,5 ± 29,1	439,9±42,9	396,7 ± 74,6	459,3 ± 51,2	452,1 ± 41	p < 0,1	П1 vs до П2 vs до П4 vs до после vs до
Латенция сна, мин	22,5 [19,3–27]	16 [15,3–26,3]	12,3 [11,4–16,1]	30,5 [24,3–53]	111 [74,5–113,2]	20,3 [12–33,8]	p < 0,1	П4 vs до П4 vs П1 П4 vs П2 П4 vs после П2 vs П3
Латенция дельта-сна, мин	35 [27,5–45,5]	16,5 [15,5–17,3]	24,3 [21,1–27]	30,5 [22,5–32,8]	8,5 [8–14,5]	15,8 [12,9–17,4]	p < 0,05	П4 vs до П4 vs П3 после vs до
Латенция БС, мин	39 ± 58,5	69,7 ± 7,1	50,1 ± 60,2	80,2 ± 16	69,5 ± 18,5	48 ± 32,1	NS	
Эффективность сна, %	90,9 [90,1–91,2]	90,9 [89,6–92,7]	92,4 [92,1–92,8]	85 [82,4–88,9]	71,6 [69,2–80,4]	89 [83,7–94,1]	p < 0,05	П4 vs П1 П4 vs П2
1-я стадия, %	6,3 ± 0,5	7,1 ± 2	7,8 ± 2,4	7,5 ± 1,1	8,7 ± 1,5	6,5 ± 1,9	NS	
2-я стадия, %	40,6 ± 2,4	40,6 ± 3,3	43,6 ± 3,7	46,1 ± 8,1	41,1 ± 3,4	52,2 ± 3,4	p < 0,05	после vs до после vs П1 после vs П2 после vs П4
3-я стадия, %	24,6 ± 4,3	25,1 ± 5,2	24,5 ± 6,6	25,5 ± 10,3	25,4 ± 7	18,4 ± 3	NS	
БС, %	28,5 ± 5	27,2 ± 3,1	24 ± 2,5	20,9 ± 6,3	24,8 ± 3,5	23 ± 1,3	NS	
Бодрствование, мин	9,5 [9,5–11,8]	18,5 [14,–23,5]	17,5 [14,4–20,3]	16 [13,8–16,3]	17,5 [15,8–23]	20,8 [14,8–29,3]	NS	
Индекс активаций, в/ч	8 ± 3,1	7,9 ± 1,4	9,3 ± 2,3	7,9 ± 0,6	11,3 ± 0,8	9,7 ± 1,3	NS	
Кол-во сегментов в/ч	11,9 ± 1,4	17,1 ± 3,9	16,8 ± 2,7	16,7 ± 2,7	17,9 ± 1,5	16,2 ± 1,8	p < 0,1	П2 vs до

в течение всего эксперимента и в период последействия по сравнению с фоновыми значениями (см. табл. 3).

Таким образом, в течение эксперимента продолжительность пребывания в кровати и общее время ночного сна у 2-й группы возрастали, а у 1-й группы изменения этих параметров не достигали статистической значимости.

Латенция дельта-сна и БС. Динамика латенции дельта-сна и латенции БС не различалась по группам. В обеих группах было выявлено снижение латенции дельта-сна на 468–473-и сутки по сравнению с регистрациями ночного сна до, после и в другие периоды изоляции (см. табл. 2, 3).

Представленность фаз и стадий сна. Динамика процента стадий и фаз от общей продолжительности сна не различалась между группами. Также

не было выявлено различий по их представленности в течение эксперимента у групп, за исключением увеличения процента 2-й стадии у обследуемых 2-й группы в период последействия (см. табл. 2, 3). Хотя статистические тесты и не выявляют значимых различий, хотелось бы отметить, что процент дельта-сна был примерно на одинаковом уровне во время фоновой регистрации, а в течение изоляции имел различную динамику: практически не изменяясь у 2-й группы, средняя представленность дельта-сна увеличивалась у 1-й группы, превышая нормативные показатели на 20–25 % (рис. 2, В). Необходимо подчеркнуть, что при проверке процента дельта-сна у отдельных членов экипажа такая динамика была характерна не для всех (у обследуемого D (1-я группа) уровень дельта-сна был примерно на одном уровне, а у обследуемого В (2-я группа)

– увеличивался). Процент быстрого сна в фоне был несколько выше у операторов с ИСД «поиск». В течение эксперимента представленность БС у обеих групп снижалась, достигая минимума у 1-й группы в точке П2, а у 2-й группы – в точке П3 (рис. 2, Г).

Несмотря на отсутствие статистических значимых различий в представленности фаз и стадий сна, отмечалось некоторое увеличение продолжительности дельта-сна только у 1-й группы.

Микроструктура (индекс РЭЭГА) и количество сегментов. Динамика индекса РЭЭГА и общего количества сегментов за 1 ч сна значимо ($p < 0,05$) различалась между выделенными группами: в фоне у 1-й группы индекс активаций был несколько ниже, а количество сегментов выше. У обследуемых 1-й группы оба этих показателя оставались примерно на том же уровне в течение эксперимента и даже несколько снижались во 2-й половине эксперимента (рис. 2, Д, Е), в то время как у 2-й группы отмечалось статистически значимое нарастание количества сегментов во время изоляции по сравнению с фоном, а также не достигающее уровня статистической значимости нарастание индекса активаций в преддверии «высадки на Марс» и окончания эксперимента (см. табл. 2, 3).

Хотя показатели микроструктуры были на протяжении эксперимента в пределах нормы в обеих группах, у 2-й группы отмечалось нарастание нестабильности ночного сна в период изоляции, особенно выраженное накануне значимых событий.

Индивидуальные особенности. При анализе динамики показателей ночного сна отдельных участников эксперимента выявлено, что в 1-й группе был 1 обследуемый (D), отличавшийся стабильно короткой латенцией сна и высокой эффективностью сна (рис. 3). Необходимо подчеркнуть, что такой стабильностью показателей он отличался от всех остальных участников эксперимента. Подобная картина наблюдалась у D и при выполнении сложной операторской деятельности (рис. 4). Вероятно, это обусловлено индивидуальными особенностями процессов саморегуляции, обеспечивающими успешную адаптацию к стрессорным условиям длительной изоляции и мобилизацию, достаточную для выполнения поставленных задач.

Изучение характера изменений структуры ночного сна применительно к личностно-обусловленным индивидуальным устойчивым поведенческим стилям подтвердило взаимосвязь изменения ночного сна в условиях длительной изоляции с типами реагирования на стресс и способностью к саморегуляции. При этом индивидуальная стратегия преодоления стресса, ее затратность с точки зрения использования в дневное время имеющихся психофизиологических резервов организма влияет на структуру ночного сна.

Изучение личностных особенностей поведения и деятельности обследуемых 1-й группы выявило у них стремление контролировать внешние условия и избегать критики. В случае же возникновения мало-предсказуемых непредвиденных ситуаций с высокой публичностью они склонны проявлять повышенную тревогу, стремятся выглядеть безукоризненно, прилагают дополнительные усилия для превращения ситуаций в более простые и определенные. Поэтому значимые события вызывают у них значительное повышение уровня мобилизации и бдительности, что приводит к большим затратам психофизиологических ресурсов и к большей потребности в реабилитации, в том числе во сне. Так, у обследуемых 1-й группы чаще наблюдались трудности со сном (преимущественно длительное засыпание), связанные с приближением значимых событий. В частности, если накануне окончания изоляции длительное засыпание отмечено у обследуемых обеих групп, то у обследуемых 1-й группы аналогичные проблемы возникали также в преддверии другого ожидаемого значимого события – имитации высадки на Марс (при том, что не все из них непосредственно в ней участвовали). Этот факт можно рассматривать как подтверждение большей предрасположенности обследуемых 1-й группы к развитию диссомнических нарушений накануне важных событий в рабочем графике.

Длительное засыпание – один из симптомов, характерных для больных с инсомнией (бессонницей). Однако при бессоннице, помимо возникновения трудностей с засыпанием и частых ночных пробуждений, происходит значительное изменение соотношения продолжительности стадий сна и количества переходов из стадии в стадию (сегментов сна): уменьшение представленности дельта-сна и БС, фрагментация сна. Последнее проявляется более частыми переходами между стадиями, а следовательно, большим количеством сегментов за час сна, большим количеством РЭЭГА [8]. В отличие от больных с инсомнией, у обследуемых 1-й группы представленность стадий и фаз сна не изменялась, а процент дельта-сна даже увеличивался (отсутствие статистической значимости). Количество сегментов и индекс РЭЭГА оставались на фоновом уровне и не превышали нормативных показателей [8]. Таким образом, внутренняя структура сна не подвергалась изменениям, наблюдаемым у больных бессонницей, и характеризовалась значительной стабильностью.

Увеличение процента дельта-сна может свидетельствовать о большей потребности членов данной группы в восстановительных процессах в течение ночи, связанных с реализацией в дневное время затратной, требующей мобилизации всех психофизиологических ресурсов стратегии «контроль».

Обследуемые 2-й группы, обладающие большей эффективностью процессов саморегуляции и быстрой мобилизацией (при неустойчивости

показателя надежности деятельности), характеризовались менее стабильной продолжительностью периода, отводимого на ночной сон, времени в постели и общей продолжительности сна. Несмотря на отсутствие у этой группы одного из характерных для членов 1-й группы пиков нарушений сна, параметры неустойчивости ночного сна (индекс РЭЭГА и количество сегментов) у них на протяжении эксперимента превышали фоновые значения и достигали максимума в период ожидания значимых событий (как окончания эксперимента, так и «высадки на Марс»). Увеличение индекса РЭЭГА и количества сегментов отражает дестабилизацию нейрофизиологических процессов во время сна и, возможно, указывает на наличие напряжения адаптивных механизмов сна в связи с переживаемым в ходе экспедиции стрессом. Более экономная поведенческая стратегия обследуемых 2-й группы, умение не только быстро мобилизоваться, но и легко расслабиться приводила к меньшим энерготратам. Кроме того, они более избирательно подходят к проблемным ситуациям и реже относят их к личностно значимым. По всей видимости, структурированная и заявленная заранее ситуация высадки явилась для них не столь стрессовой, как для обследуемых 1-й группы. Ввиду этого способность к более эффективной саморегуляции и меньшее психофизиологическое напряжение позволили им избежать явных проблем со сном накануне «высадки». В то же время обсуждение работ после завершения изоляции было для них весьма неприятным. Они понимали, что в данном случае от них не зависит почти ничего, а само обсуждение не ведет к четкому и понятному результату. Отсюда рост тревожности, сказавшейся на структуре сна (трудности засыпания).

Хотя в целом сон обследуемых 1-й группы характеризовался удлинением засыпания накануне ожидаемых значимых событий, у 1 представителя этой группы (обследуемый D) на протяжении всего эксперимента ни разу не наблюдалось удлинения латенции и снижения эффективности сна. Результаты выполнения операторских задач также позволяют выделить этого участника эксперимента среди других как наиболее успешного, что может свидетельствовать о больших функциональных резервах и индивидуальных особенностях саморегуляции.

К ограничениям проведенного исследования относятся большое количество трудноконтролируемых воздействий, оказываемых в период изоляции на экипаж в целом и каждого обследуемого по отдельности, а также невозможность отследить наличие и структуру дневного сна.

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о различном характере изменений структуры ночного

сна у лиц с различными типами реагирования на стрессорные условия. Индивидуальная стратегия преодоления стресса, а именно ее затратность с точки зрения использования в дневное время имеющихся психофизиологических резервов организма, влияет на структуру ночного сна. Значимые события вызывают существенные изменения структуры ночного сна. При этом особенности события (длительность, предсказуемость протекания и др.) по-разному влияют на операторов, использующих различные адаптационные стратегии, что сказывается на выраженности и характере изменений сна.

Несмотря на большую реактивность параметров латенции и эффективности сна, показатели микроструктуры (индекс РЭЭГА) и количество сегментов сна за 1 ч были у обследуемых 1-й группы более стабильными и оставались на фоновом уровне в течение периода изоляции. У обследуемых 2-й группы эти параметры в большей степени зависели от воздействия факторов эксперимента и ухудшались (увеличивались) во время пребывания в гермообъекте.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта РГНФ «Механизмы нарушений цикла «сон – бодрствование» в условиях хронического стресса у здоровых лиц (длительной изоляции в модели космического корабля)», проект № 110601052а.

Список литературы

1. Пестов И.Д., Дитлайн Л.Ф. Здоровье, работоспособность, безопасность космических экипажей. М., 2001.
Pestov I.D., Dirlain L.F. Health, performance, safety of space crews. Moscow, 2001.
2. Mallis M.M., DeRoshia C.W. Circadian rhythms, sleep, and performance in space // *Aviat. Space Environ. Med.* 2005. V. 76. № 6. P. 94–107.
3. Мясников В.И. Психофизиология сна и проблема летного стресса: Дис. ... д-ра мед. наук. М., 1977.
Myasnikov V.I. Psychophysiology of sleep and problem of the flight stress: Dis. dr. med. science, Moscow, 1977.
4. Мясников В.И., Степанова С.И., Сальницкий В.П. и др. Проблема психической астенизации в длительном космическом полете. М., 2000.
Myasnikov V.I., Stepanova S.I., Salnitskiy V.P. et al. Problem of mental asthenia in long-term space flight. Moscow, 2000.
5. Frost J.D., Shumate W.H., Salamy J.G., Booher C.R. Sleep monitoring: the second manned Skylab mission // *Aviat. Space Environ. Med.* 1976. V. 47. № 4. P. 372–382.

6. Gundel A., Polyakov V.V., Zulley J. The alteration of human sleep and circadian rhythms during spaceflight // *J. Sleep Res.* 1997. V. 6. № 1. P. 1–8.
7. Вейн А.М., Пономарева И.П., Елигулашвили Т.С. и др. Особенности цикла «сон – бодрствование» в условиях длительной изоляции // *Авиакосм. и экол. мед.* 1997. Т. 31. № 4. С. 36–41.
- Vein A.M., Ponomareva I.P., Eligulashvili T.S. et al. Features of the sleep/wakefulness cycle in long-term isolation // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 1997. V. 31. № 4. P. 36–41.
8. Ковров Г.В., Вейн А.М. Стресс и сон у человека. М., 2004.
- Kovrov G.V., Vein A.M. Stress and Sleep in Humans. Moscow, 2004.
9. Ковров Г.В., Посохов С.И., Посохов С.С. и др. Нестабильность структуры сна у здоровых мужчин в условиях 105-суточной изоляции – эксперимент «Марс-105» // *Журн. высш. нервн. деят.* 2013. Т. 63. № 1. С. 1–6.
- Kovrov G.V., Posokhov S.I., Posokhov S.S. et al. Sleep structure instability in healthy men under conditions of 105-day isolation experiment «Mars-105» // *Zhurnal vysshey nervnoy deiatelnosti imeni I.P. Pavlova.* 2013. V. 63. № 1. P. 135–40.
10. Ковров Г.В., Русакова И.М., Шварков С.Б. и др. Особенности цикла «сон – бодрствование» в условиях 105-суточной изоляции // *Авиакосм. и экол. мед.* 2010. Т. 47. № 4. С. 23–26.
- Kovrov G.V., Rusakova I.M., Shvarkov S.B. et al. Features of the sleep/wakefulness cycle under condition of long-term isolation // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2010. V. 47. № 4. P. 23–26.
11. Мясников В.И. Психофизиологические особенности сна в условиях замкнутой среды обитания // *Кремлевская мед.* 1998. Т. 5. С. 59–62.
- Myasnikov V.I. Physiological characteristics of sleep in a closed environment // *Kremlevskaya meditsina.* 1998. V. 5. P. 59–62.
12. Kanas N., Weiss D.S., Marmar C.R. Crewmember interactions during a Mir space station simulation // *Aviat. Space Environ. Med.* 1996. V. 67. № 10. P. 969–975.
13. Григорьев А.И., Демин Е.П., Быстрицкая А.Ф. и др. Некоторые особенности организации жизнедеятельности экипажа марсианской экспедиции // *Авиакосм. и экол. мед.* 2002. Т. 36. № 5. С. 3–7.
- Grigoriev A.I., Demin E.P., Bystritskaya A.F. et al. Some features of crew's life organization of the Mars mission // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2002. V. 36. № 5. P. 3–7.
14. Завалко И.М., Рассказова Е.И., Гордеев С.А. и др. Влияние длительной изоляции и ожидания значимого события на сон человека: результаты проекта «Марс-520» // *Физиология человека.* 2013. Т. 39. № 6. С. 1–8.
- Zavalco I.M., Rasskazova E.I., Gordeev S.A. et al. Effects of long-term isolation and anticipation of significant event on the sleep: results of the project «Mars-520» // *Physiologiya cheloveka.* 2013. V. 39. № 6. P. 1–8.
15. Rechtschaffen A., Kales A. A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. Los Angeles: Brain Information Service/Brain Research Institute, University of California, 1968.
16. Iber C., Ancoli-Israel S., Chesson A. et al. The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications. Westchester, Illinois: American Academy of Sleep Medicine, 2007.
17. Bonnet M.H., Arand D.L. Situational insomnia: consistency, predictors, and outcomes // *Sleep.* 2003. V. 26. № 8. P. 1029–1036.
18. Vein A.M., Sudakov K.V., Levin Y.I. et al. Stages of sleep after psychoemotional tension: the individual character of changes // *Neurosci. Behav. Physiol.* 2002. V. 32. № 5. P. 513–518.
19. Дудукин А.В., Сальницкий В.П., Боритко Я.С. и др. Взаимосвязь личностно обусловленных индивидуальных устойчивых поведенческих стилей с качеством и надежностью профессиональной операторской деятельности // *Авиакосм. и экол. мед.* 2013. Т. 47. № 3. С. 10–19.
- Dudukin A.V., Salnitskiy V.P., Boritko Ya.S. et al. Individual behavioral styles and quality and reliability of professional operator's activity // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2013. V. 47. № 3. P. 10–19.
20. Виноходова А.Г., Боритко Я.С., Чекалина А.И. и др. Психофизиологические корреляты индивидуальных стилей профессиональной операторской деятельности // *Авиакосм. и экол. мед.* 2013. Т. 47. № 5. С. 16–21.
- Vinokhodova A.G., Boritko Ya.S., Chekalina A.I. et al. Psychophysiological correlates of individual styles of professional operator's activity // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2013. V. 47. № 5. P. 16–21.
21. Собчик Л.Н. МЦВ – метод цветовых выборов. Модифицированный восьмицветовой тест Люшера: Практик. руководство. СПб., 2001.
- Sobchik L.N. MCC – a method of color choices. Modified 8-color Lusher test: Practical guide. Saint Petersburg, 2001.
22. Универсальная психофизиологическая лаборатория Neurolab BioMouse: Руководство по практ. использованию. М., 2003.
- Universal psychophysiological laboratory Neurolab BioMouse: Practical guide. Moscow, 2003.
23. Быстрицкая А.Ф., Виноходова А.Г., Смирнова Т.М. Оценка индивидуальной стрессоустойчивости космонавтов // *Матер. XII конф. по косм. биол. и авиакосм. мед.* М., 2002. С. 76–77.
- Bystritskaya A.F., Vinokhodova A.G., Smirnova T.M. Evaluation of individual stress tolerance of cosmonauts // *Materialy XII konferenzii po kosmicheskoi biologii i aviakosmicheskoi meditsine.* Moscow, 2002. P. 76–77.

24. Виноходова А.Г., Быстрицкая А.Ф., Смирнова Т.М. Способность к психической саморегуляции как фактор устойчивости к стрессу в экстремальных условиях космического полета // *Авиакосм. и экол. мед.* 2005. Т. 39. № 5. С. 14–18.

Vinokhodova A.G., Bystritskaya A.F., Smirnova T.M. Ability for psychic self-regulation as a factor of stress tolerance in the extreme conditions of space flight // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2005. Т. 39. № 5. Р. 14–18.

25. Генин А.М., Ильин А.Е., Капланский А.С. и др. Биоэтические правила проведения исследований на человеке и животных в авиационной, космической и морской медицине // *Авиакосм. и экол. мед.* 2000. Т. 34. № 4. С. 14–20.

Genin A.M., Ilyin A.E., Kaplanskiy A.S. et al. Bioethical rules of research with humans and animals in the aviation, aerospace and marine medicine // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2000. V. 34. № 4. Р. 14–20.

26. Шипунов А.Б., Балдин Е.М., Волкова П.А. и др. Наглядная статистика. Используем R! М., 2012.

Shipunov A.B., Baldin E.M., Volkova P.A. et al. Visual statistics. Use R! Moscow, 2012.

27. McClelland D.C. Methods of measuring human motivation // *Motives in Fantasy, Action, and Society* / J.W. Atkinson, ed. Princeton (N.J.), 1958

28. Гордеева Т.О. Психология мотивации достижения. М., 2006.

Gordeeva T.O. Psychology of achievement motivation. Moscow, 2006.

29. Weiner B., Kukla A. An attributional analysis of achievement motivation // *J. of Person. and Soc. Psychol.* 1970. V. 15. P. 1–20.

30. McClelland D.C., Atkinson J.W., Clark R.A., Lowell J.W. The Achievement Motive. N.Y., 1953.

NIGHT SLEEP STRUCTURAL ALTERATION AS A FUNCTION OF INDIVIDUAL STRATEGY OF ADAPTING TO 520-ISOLATION

Zavalko I.M., Boritko Ya.S., Kovrov G.V., Vinokhodova A.G., Chekalina A.I., Smoleevsky A.E.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 1. P. 27–39

Purpose of the work was to establish a relationship between trends in sleep alteration and individual adaptation to the stress-factors in the 520-day isolation study.

Psychological evaluations using a battery of motivation tests and L. Sobchik's modification of the Luscher personality test, and Mirror coordinograph enabled to differentiate groups reacting to the stress on the pattern of «control» (G-1) or «search» (G-2) manifested in individual styles of behavior and operator's activity. The 2 groups showed different dynamics of the night sleep structure. Difficulties with falling asleep in G-1 arose on the eve of «landing onto Mars» and end of the experiment, whereas in G-2 they were evident prior to the end only. Besides, the micro- and segmental sleep structures were more stable in G-1 suggesting the integrity of somnogenic mechanisms despite difficult sleep initiation.

Key words: experiment MARS-500, individual behavior and operator's work style, polysomnography, sleep.

Поступила 11.06.2013

УДК 613.693+612.821.6

НЕОСОЗНАВАЕМЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ УЧАСТНИКОВ ЭКСПЕРИМЕНТА С 520-СУТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Ушаков И.Б.¹, Бубеев Ю.А.¹, Котровская Т.И.¹, Квасовец С.В.², Иванов А.В.²

¹Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва

²Государственный научный технический центр «Наука» Минобрнауки, Москва
e-mail: bubeev@imbp.ru

Для выявления информации о внутриличностных конфликтах и жизненных сферах с высокой эмоциональной напряженностью в условиях длительной групповой изоляции обследованы 6 участников эксперимента «Марс-500». В исследовании использовалась методика нейросемантической психодиагностики, базирующаяся на принципе

операциональной аналогии и позволяющая рассматривать подсознание субъекта в качестве «семантического фильтра», на вход которого поступает неструктурированная семантическая информация, структурируемая на выходе содержанием внутреннего мира обследуемого. Результаты исследования позволили оценить семантическую

структуру субъективного опыта и функционирование защитных механизмов, уровни организации и модальности эмоциональных переживаний. До и после 520-суточной изоляции у всех участников эксперимента выявлены внутриличностные конфликты и высокая эмоциональная напряженность в социально-профессиональной сфере, связанные с семейно-сексуальными, межличностными отношениями и самооценкой, а также с опасениями за жизнь и здоровье. По окончании эксперимента отмечено количественное снижение психоэмоциональной напряженности в сфере межличностных отношений и ее повышение в области семейно-сексуальных отношений.

Ключевые слова: подсознание, неосознаваемые стимулы, нейросемантическая психодиагностика, внутриличностные конфликты, психоэмоциональная напряженность, длительная групповая изоляция.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 1. С. 39–47.

Во время полета космонавты осуществляют напряженную профессиональную деятельность в условиях изоляции в замкнутом объеме, агрессивного окружения, ограничений на поступление внешней информации, монотонности жизнедеятельности, отрыва от привычного социума и др. В этих условиях важна психологическая поддержка экипажа, предусматривающая комплексное выполнение мероприятий по минимизации негативного влияния факторов среды обитания на психику человека. Принципиальным отличием планируемых экспедиций к другим телам Солнечной системы от длительных орбитальных полетов является период полной автономности экипажа. В это время экипаж вынужден опираться только на имеющиеся на борту ресурсы, собственные силы и свое умение принимать верные решения в условиях возрастания вероятности возникновения критических ситуаций. Между тем сложные вопросы психологического и психофизиологического обеспечения длительных полетов еще далеки от решения [1].

В ходе длительных орбитальных полетов и в модельных экспериментах с изоляцией у их участников отмечены признаки психической астенизации: повышенная эмоциональная возбудимость, неустойчивость настроения, появление чувства усталости, ухудшение сна, снижение качества выполнения профессиональной деятельности [1]. Описан феномен «психологического закрывания» и «автономизации» экипажа [2, 3], проявляющийся в снижении объема штатного, формализованного общения с внешними коммуникантами и ограничении спектра обсуждаемых тем, а также в четких предпочтениях в выборе объектов общения.

В связи с возрастанием значения автономных средств психологической поддержки в условиях межпланетных перелетов их создание и использование должно базироваться на понимании механизмов

психических изменений у космонавтов в таких перелетах. Человек отражает окружающую действительность не только на уровне сознания. Большая часть информации и изменений обстановки воспринимается на бессознательном уровне, что не всегда осознается в процессе переработки информации и принятия решений. Бессознательное оказывает существенное влияние на поведение человека, его психику и содержание его сознания, проявляясь в формах аффекта, реакции защиты, гипнозе, сновидениях, произвольном запоминании и т.д.

Один из подходов к изучению бессознательного – психосемантический – рассматривает эту категорию не как самостоятельную психическую реальность, противостоящую сознанию, а как нижележащие уровни сознания, характеризующиеся меньшей расчлененностью и рефлексивностью [4]. Возможности применения этого подхода на практике продемонстрированы по отношению к лицам опасных профессий при изучении их психических состояний, во многом определяемых неосознаваемыми переживаниями страха и тревоги [5, 6], а также при исследовании неосознаваемых компонентов психофизиологических реакций у 6 участников эксперимента «Марс-105» [7].

Применявшаяся в данном исследовании методика нейросемантической психодиагностики базируется на принципе операциональной аналогии, позволяющей рассматривать подсознание субъекта в качестве «семантического фильтра», на вход которого поступает неструктурированная семантическая информация, структурируемая на выходе содержанием внутреннего мира обследуемого.

Методика

Для выявления информации о внутриличностных конфликтах и жизненных сферах с высокой эмоциональной напряженностью у 6 участников эксперимента до начала и сразу после эксперимента с 520-суточной изоляцией, проведенного в 2010–2011 гг. на базе ГНЦ РФ – ИМБП РАН, использовался метод «Нейросемантическая психодиагностика» (АПК «Модуль ВП-диагностический» ООО «Инструментальные психологические системы»).

Для каждого исследования в зависимости от его задач и контингента обследуемых подбирались группы тестовых стимулов, связанных с социально-профессиональными аспектами (космос, Марс, приказ, работа, деньги), областью семейных и сексуальных отношений (жена, семья, секс), самооценкой (слабак), опасениями за собственную жизнь (авария, опасность, страх, смерть) и здоровье (болезнь, здоровье, алкоголь), а также с именами участников проекта.

У различных людей одни и те же семантические стимулы могут характеризовать эмоциональную

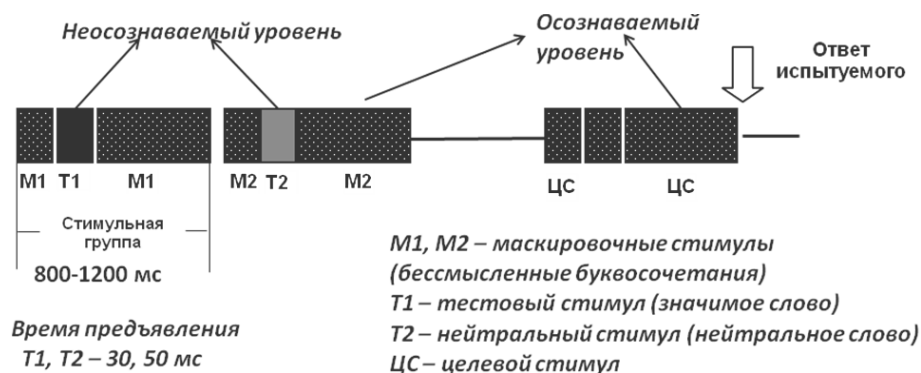


Рис. 1. Циклограмма процедуры обследования

напряженность в различных жизненных сферах. Например, при наличии болеющего члена семьи слова «смерть», «болезнь», «страх» могут перейти из зоны опасений за собственную жизнь и здоровье в сферу семейных отношений. Для выявления такого перехода необходимо регулярное пролонгированное обследование индивида с верификацией его результатов другими психологическими методами. Поэтому процедура нейросемантической диагностики была направлена, прежде всего, на выявление информации, связанной с внутриличностными конфликтами, и информации о жизненных сферах с высокой эмоциональной напряженностью на основе показателей реагирования на условно положительные подпороговые стимулы, выступающие в качестве индикатора неблагополучия и дефицита в этих сферах.

При отсутствии внутриличностных конфликтов и психоэмоциональной напряженности в жизни человека реакция на тестовые стимулы не превышает порог нормы. Средние значения и дисперсии порога нормы реакции на тестовые стимулы определялись по выборке из более чем 2000 обследованных и подвергались верификации с участием психолого-медицинских экспертов.

Процедура диагностики была автоматизирована и планировалась по отношению к операторской деятельности и к организации собственно подпороговой стимуляции. Для обследуемого, который не видел тестовых стимулов, предъявляемых на уровне ниже порога осознания, процедура представляла собой последовательное восприятие бессмысленных буквосочетаний. Среди них время от времени появлялся целевой стимул – осмысленное нейтральное слово, – на который обследуемый должен был реагировать нажатием на кнопку. Для поддержания соответствующей мотивации обследуемому периодически выводилась на экран информация о выполнении им операторской деятельности в виде условного индекса внимания, учитывающего пропуски слов, реакцию на бессмысленные буквосочетания и время реакции.

В качестве стимулов, предъявляемых обследуемому в центре экрана, выступали бессмысленные буквосочетания и слова, образующие стимульные группы в виде комбинации тестового, нейтрального стимула или маски – бессмысленного буквосочетания. В каждой стимульной группе сначала на фиксированное время (50 мс) предъявлялись программно сгенерированное бессмысленное буквосочетание, затем стимул на 30 мс (Т1) или 50 мс

(Т2) и маска перед тестовым стимулом. Она же экспонировалась до начала предъявления следующей стимульной группы. Интервал смены стимульных групп составлял 800–1200 мс. Режим предъявления целевого стимула был идентичен стимульной группе, с тем чтобы обследуемый при своих ответах не ориентировался на изменение характера стимуляции. Циклограмма процедуры обследования представлена на рис. 1.

Применявшийся метод обеспечивал возможность минимизации количества данных для усредненного анализа и формализации процедуры оценки амплитудно-временных характеристик вызванной активности, которая определялась как совокупность средних и длинных латентностей вызванного ответа на все виды предъявляемых стимулов. Электроэнцефалограмма регистрировалась с помощью электроэнцефалографа «Нейровизор-БММ» производства фирмы «Медицинские компьютерные системы» (Россия). Регистрация биопотенциалов головного мозга осуществлялась в полосе 0,3–30 Гц, референциально в лобных, теменных и передневисочных отведениях обоих полушарий (F3, F4, T3, T4, P3, P4) по системе 10–20. Объединенные индифферентные электроды располагались на мочках ушей. Контроль артефактов осуществляли при обработке: из анализа исключали участки записи, содержащие амплитудные или глазодвигательные артефакты. Движения глаз фиксировались с помощью электрода, расположенного выше наружного края надбровной дуги, что позволяло одновременно определять факты наличия моргания, горизонтальных или вертикальных движений глаз.

Обработка результатов предусматривала выделение вызванной активности на каждый стимул из шума и обработку ее параметров методами кросс-корреляционного и вейвлет-анализа и получение результирующей оценки активности на все стимулы и каждый в отдельности. При этом обеспечивалась возможность оценки реагирования как на бессмысленные (в виде набора букв), так и на осмысленные стимулы в каждом отведении, что позволяло оценивать

степень вовлечения в процесс той или иной области мозга, а также сравнивать обработку семантической информации левым и правым полушариями.

Результаты представлены в виде слов, в параметрах реакции на которые отмечались статистически значимые различия от нормативных значений, среднего и дисперсии порога нормы реакции на тестовые стимулы. Достоверность различий определялась программно в процессе проведения процедуры нейросемантической психодиагностики.

Результаты и обсуждение

Нейросемантическая психодиагностика в интегрированном виде исследует семантическое пространство в целях реконструкции системы индивидуальных значений и их модельного представления. Субъективное семантическое пространство выступает операциональным аналогом категориальных структур индивидуального сознания. Реконструируя модель этого субъективного пространства, можно посмотреть на мир как бы через призму сознания самого субъекта [8]. Появляется все больше данных о реальности семантического анализа на неосознаваемом уровне не только в случаях психологической защиты при повышении порога осознания эмоционально значимых слов, но и при восприятии вербальных стимулов вне поля фокусированного внимания субъекта [9, 10]. Оценка показателей реагирования на слова, предъявляемые на подпороговом уровне как инструмента исследования индивидуальных значений и смыслов [11], позволила использовать результаты экспериментальных исследований бессознательных психических явлений для решения задач психосемантики.

Выдвинута гипотеза о предсознательной (prior to awareness) оценке эмоционально значимых стимулов, изменяющей порог осознания стимула [12, 13]. Эта гипотеза предполагает существование чувствительного мозгового механизма, реагирующего на физически очень слабые, но психологически весьма значимые стимулы для данного субъекта. На основании информации, не достигающей уровня сознания, этот механизм обеспечивает семантическое дифференцирование отдельных слов и оценивает их эмоциональную значимость для повышения или понижения порога их осознания [14, 15].

Авторы работы [16] выдвинули положение, согласно которому различия в оценке интенсивности стимулов отражают функционирование разных уровней обработки эмоционально значимой информации. Один из этих уровней связан с быстрым различением аффективно насыщенных стимулов, а другой – с оценкой субъективной значимости стимулов, включением этой информации в более широкий эмоциональный контекст с возможным возникновением внутриличностного конфликта.

Можно предположить, что реакции на 2 различные экспозиции предъявления стимулов коррелируют 2 уровням переработки информации – близкому к уровню осознания (предсознанию) – при экспозиции стимула в 50 мс и уровню глубинного подсознания при экспозиции 30 мс. Положительные и отрицательные значения реакции означают для каждого уровня одно и то же – значимость информации на этом уровне, причем в случае положительных значений эта информация актуальна и выражена на этом уровне и входит в качестве доминирующей в устойчивую структуру уровня, а в случае отрицательных – информация значима, но активно игнорируется. Таким образом, положительные и отрицательные значения означают тип значимости: положительные значения относятся к устойчивой структуре значимости, а отрицательные – вступают с ней в противоречие и поэтому игнорируются. Исходя из этого, предъявление вербальной информации в неосознаваемом виде при времени экспозиции 30 и 50 мс позволит операционально определить базовые характеристики переработки эмоционально значимой информации на уровнях предсознания или глубинного подсознания (рис. 2).

Тестовые стимулы были разнесены по осям «акцентность – отрицание» и «тревога – аффект» при времени предъявления 50 и 30 мс. На оси «защита – нет защиты» находились стимулы, параметры реакций на которые были статистически значимо больше при экспозиции слов 30 мс, чем при времени предъявления 50 мс.

На оси «акцентность – отрицание» (см. рис. 2) располагались тестовые стимулы, параметры реакции на которые достоверно отличались от показателей реакции на нейтральные стимулы. Достоверно положительные значения различий отражали наличие выраженного акцента в отношении той или иной информации, связанной с тестовыми стимулами. Достоверно отрицательные значения различий свидетельствовали о том, что данная информация блокируется, отрицается.

Из рисунка видно, что у всех обследуемых до начала эксперимента наблюдалась акцентуация на стимулы, связанные с социально-профессиональной сферой, с опасениями за жизнь и здоровье и с межличностными отношениями на всех уровнях переработки информации. Отрицание на предсознательном уровне обработки информации выявлено в связи с социально-профессиональной сферой, с семейно-сексуальными и межличностными отношениями, с самооценкой; а на уровне глубинного подсознания – с опасением за жизнь и здоровье, с семейными и межличностными отношениями.

После эксперимента у всех обследуемых остаются акцентуированными социально-профессиональная и межличностная проблематика, опасения за жизнь и здоровье и появляется акцентуация

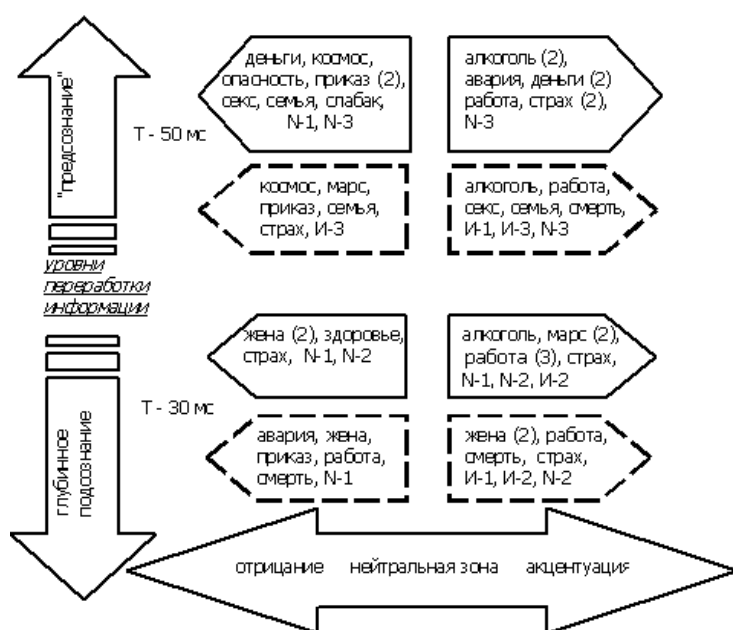


Рис. 2. Реализация механизмов «акцентность» и «отрицание»

семейно-сексуальных отношений; отрицается информация, связанная со всеми тестируемыми категориями внутриличностных конфликтов (кроме самооценки) и с межличностными взаимоотношениями на всех уровнях переработки информации.

Таким образом, у участников эксперимента до его начала в качестве доминирующей в устойчивую структуру как предсознательного, так и глубинного уровня подсознания входила семантическая информация, связанная с алкогольной, социально-профессиональной проблематикой, витальными страхами и межличностными отношениями, а по его окончании сохранялась эмоциональная напряженность, связанная с витальными страхами и межличностными отношениями, устойчиво значимой стала информация, относящаяся к семейно-сексуальной проблематике, а напряженность в социально-профессиональной сфере снизилась. Вошла в противоречие с устойчивой структурой значимости и игнорировалась на уровне подсознания информация, связанная с опасениями за жизнь и здоровье, с социально-профессиональными, семейно-сексуальными и межличностными взаимоотношениями, а также с самооценкой у группы участников в целом как до, так и после эксперимента.

При действии эмоциональных раздражителей на уровне взаимодействия сознания и бессознательного проявились адапционные феномены, одним из которых стала психологическая защита. Феномен психологической защиты был обнаружен экспериментальным путем еще в середине прошлого века. После выработки оборонительной условной реакции на отдельные слоги (при электрокожном подкреплении) пороги опознания слогов,

на которые вырабатывалась оборонительная реакция, были явно выше, чем на нейтральные слоги. В условиях психологической защиты, т.е. повышения порогов осознания эмоционально значимой словесной информации, было получено большинство фактов семантического дифференцирования на неосознаваемом уровне. Психологическая защита обеспечивается системой механизмов, направленных на минимизацию отрицательных переживаний, связанных с конфликтами, ставящими под угрозу целостность личности. Подобные конфликты могут провоцироваться как противоречивыми установками, так и рассогласованием внешней и сформированной личностью информации. В результате включения механизмов психологической защиты информация отсекается, а воспринимаемый мир упрощается в ущерб точности отражения, при этом часть информации утрачивается, а та, что сохраняется, претерпевает изменения, поскольку отсутствующие после усекования компоненты заменяются достроенными так, чтобы сохранялись целостность и внутренняя непротиворечивость модели мира [17, 18].

В большинстве случаев у обследуемых амплитуды компонентов вызванных потенциалов прямо пропорциональны интенсивности стимулов [19], однако у некоторых лиц (по разным данным – у 25–40 % общей выборки) повышение интенсивности стимула вызывает не увеличение, а уменьшение амплитуды ответа – так называемый редьюсинг (reducing) [20]. Предполагается, что редьюсинг, как и повышение порогов осознания эмоционально значимых слов, лежит в основе такого психического явления, как перцептивная защита. Опираясь на результаты регистрации вызванных потенциалов на неосознаваемые слова, автор работы [9] выдвинул гипотезу о нейрофизиологическом механизме явления психологической защиты. Согласно этой гипотезе, еще будучи неосознанным, эмоциональный словесный стимул может возбуждать временные связи между воспринимаемыми элементами неокортекса и лимбической системой, а кортикофугальное возбуждение структур лимбической системы приводит к возникновению неспецифической импульсации, изменяющей уровень возбудимости коры головного мозга [9, 21].

С одной стороны, защита может служить способом адаптации к стрессовым условиям, но с другой – такого рода реагирование может быть основой снижения интереса к ранее значимой деятельности и отношениям, формирования чувства отстраненности или отдаленности от других людей и снижения выраженности аффекта [22].

В выполненном исследовании выраженность защитных реакций на тестовые стимулы определялась как соотношение параметров реакций на стимул

на 2 уровнях переработки эмоциональной информации. Положительные показатели по оси «защита – нет защиты» означали, что по мере возрастания осознанности информации величина реакции уменьшается. Это соответствует представлениям о реализации защитных механизмов подавления и вытеснения информации. Отрицательные значения параметров реакций означали, что по мере возрастания осознанности информации величина реакции увеличивается: вступал в действие закон «силы», свидетельствующий об отсутствии защитного реагирования по типу подавления (рис. 3).

На рис. 3 видно, что защитные реакции до начала проекта в целом для группы его участников выражены в связи с социально-профессиональной проблематикой, витальными страхами, самооценкой, сексуальными и межличностными отношениями. По завершении проекта в меньшей степени подавлению и вытеснению подвергаются межличностные отношения, существенно снижается реакция по механизму защиты на имена участников проекта, остальные проблемы по этой оси остаются практически такими же.

В то же время в группе участников в целом до и после длительной изоляции реакций по типу защиты не выявлено при предъявлении тестирующих стимулов в связи с социально-профессиональной, семейной, межличностной проблематикой, витальными страхами. На рис. 3 тестируемые стимулы, отражающие эмоциональную напряженность в этой сфере, обозначены смещающимися в сторону предсознания. Это может свидетельствовать о недостаточной эффективности защитных механизмов и возможном наличии дезадаптации отдельных членов экипажа.

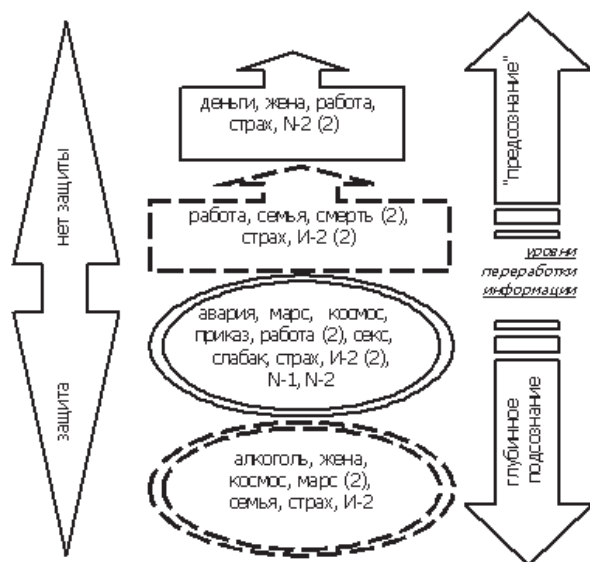


Рис. 3. Реализация механизмов «перцептивной защиты» семантического дифференцирования значимой информации

При проведении нейропсихологических исследований основное внимание уделяется вопросам связи межполушарной асимметрии с психическими познавательными процессами. В клинических работах [23, 24] показано, что при оценке результатов следует учитывать, что левое полушарие в большей степени связано с планированием, организацией целенаправленной деятельности; правое же полушарие теснейшим образом взаимодействует со структурами, ответственными за эмоциональное реагирование и хранение следов эмоциональной памяти. В результате многолетних исследований межполушарной асимметрии выявлено, что правое полушарие отвечает за обработку информации, связанной с прошлым, а левое – с будущим временем [25]. В корковой обработке неосознаваемой эмоционально значимой информации участвуют оба полушария. В нейропсихологических исследованиях фронтальные отделы головного мозга человека рассматриваются как структуры, связанные с переработкой информации эмоционального содержания [26, 27]. Согласно гипотезе «валентности», за переработку негативной информации отвечают структуры правого полушария, а позитивной – левого полушария [28].

Представляется, что в проведенном исследовании левополушарные показатели в большей степени отражают тревожные ожидания или, другими словами, отнесенность стимула к неизвестной будущей угрозе, тогда как правополушарные – связаны со страхом, т.е. реальным опытом пережитой опасности (рис. 4).

Ось «тревога – аффект» отражает реакцию на информацию, связанную с тревогой или актуальными эмоциональными переживаниями. Реакция определяется выраженностью паттернов локальной активации мозговых структур, соответствующих тревоге или аффекту. Положительные значения свидетельствуют, что информация воспринимается как связанная с тревогой (отражающая неопределенную, диффузную, часто иррациональную угрозу в будущем). Отрицательные значения показывают, что информация связана с аффективными реакциями, основанными на прошлом опыте и актуальной оценке ситуации.

У обследуемых перед длительной изоляцией тревога (топическая принадлежность к левому полушарию) на уровне предсознания связана с профессиональными аспектами, межличностными отношениями и витальными страхами; по ее окончании напряженность в области профессиональных аспектов и витальных страхов остается, но появляется тревожность по поводу семейных отношений и здоровья и полностью исчезает межличностная напряженность. На уровне предсознания до начала эксперимента актуальны эмоциональные

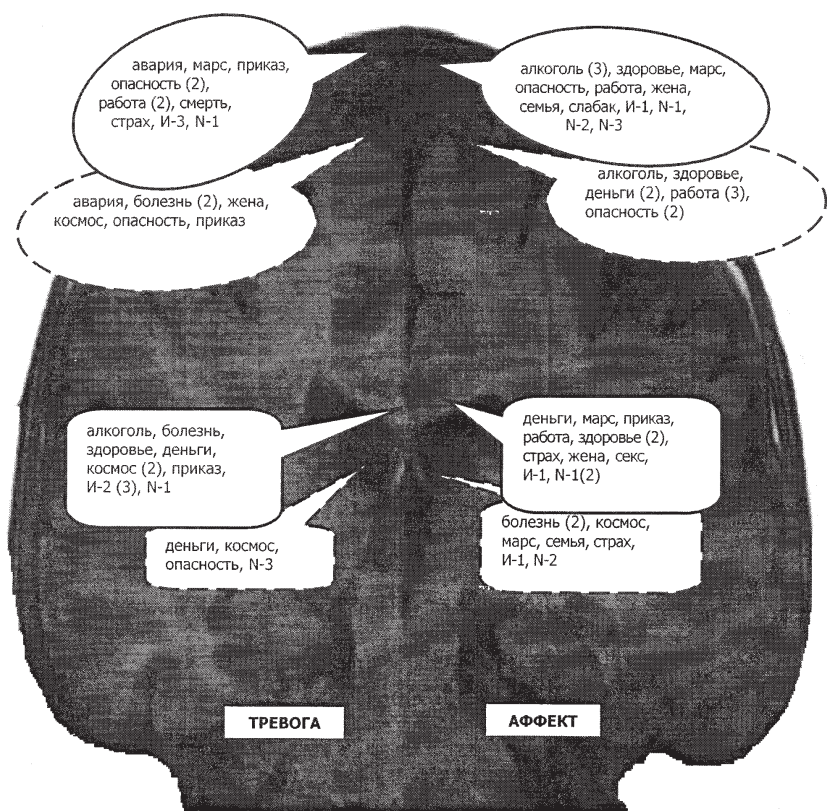


Рис. 4. Топическая организация анализируемых показателей

переживания (топическая принадлежность к правому полушарию), связанные с профессиональными, межличностными аспектами, областью семейных отношений, опасениями за здоровье, самооценкой. По окончании проекта на этом уровне обработки информации аффективные реакции возникают в связи с социально-профессиональной проблематикой и здоровьем.

Из данных рис. 4 следует, что на уровне глубинного подсознания информация до эксперимента воспринимается как отражающая диффузную и неопределенную будущую опасность, связанную с социально-профессиональными и межличностными отношениями. После эксперимента количество тестируемых стимулов, воспринимаемых как отражающие напряженность угрожающего характера, снижается, а как отражающие опасность в социально-профессиональном аспекте остаются на прежнем уровне. Связь с аффективными реакциями, основанными на прошлом опыте, на этом же уровне обработки информации до эксперимента прослеживается в социально-профессиональном плане, в семейно-сексуальных и межличностных отношениях и в связи со страхом. После эксперимента у его участников сферы высокой эмоциональной напряженности качественно остаются теми же, но на сниженном уровне.

Таким образом, как до начала эксперимента с длительной изоляцией, так и по окончании у всех его участников на глубинном подсознательном уровне семантической переработки информации наблюдалась высокая эмоциональная напряженность во всех сферах: в социально-профессиональной, семейно-сексуальной, межличностной, а также в связи с опасениями за жизнь и здоровье и самооценкой, при этом тестируемые стимулы включались в структуру этого уровня или вступали с ней в противоречие и включали механизм психологической защиты. По мере семантического развертывания и включения в процесс оценки структур сознательной цензуры происходило игнорирование, отрицание на уровне предсознания информации, связанной практически со всеми группами тестовых стимулов (кроме беспокойства о здоровье). Актуальной и выраженной на уровне предсознания и включенной в качестве доминирующей в устойчивую структуру этого уровня была информация, связанная с социаль-

но-профессиональными аспектами и витальными страхами до начала проекта и с семейно-сексуальными и межличностными отношениями после. Стимул «алкоголь» относился к устойчивой структуре значимости обоих уровней переработки информации как у российских, так и зарубежных членов экипажа, и эмоциональная напряженность в связи с алкогольной тематикой могла быть связана с предстоящим полуторогодичным «сухим законом».

По окончании эксперимента в аффективных реакциях, основанных на прошлом опыте, на уровне предсознания исчезает напряженность по поводу семейно-сексуальных и межличностных отношений, на уровне глубинного подсознания общие реакции уменьшаются на треть. После эксперимента на уровне предсознания перестает восприниматься как угроза для будущего информация, отражающая межличностные отношения, а на глубинном уровне подсознания количество тревожных реакций снижается в 3 раза.

До начала долговременной изоляции у группы обследуемых зарегистрировано 103 реакции на все тестируемые стимулы, а после – 71, что свидетельствует о снижении эмоциональной напряженности на треть. Напряженность в межличностных отношениях характеризовалась следующей оценкой неосознаваемых реакций на имена участников по

всем осям до / после проекта: N-1 (9/1), N-2 (6/2), N-3 (3/2), И-1 (2/3), И-2 (6/4), И-3 (1/2), – свидетельствующей о том, что после эксперимента межличностная напряженность существенно снизилась.

Выводы

С помощью метода нейросемантической диагностики в исследовании получены данные, позволившие оценить семантическую структуру субъективного опыта и функционирование защитных механизмов, уровни организации и модальности эмоциональных переживаний. У всех участников эксперимента «Марс-500» до начала и после долговременной изоляции выявлены внутриличностные конфликты и высокая эмоциональная напряженность в социально-профессиональной сфере, связанные с семейно-сексуальными, межличностными отношениями и самооценкой, а также с опасениями за жизнь и здоровье. После 520-суточной изоляции по сравнению с данными до начала эксперимента у всех отмечалось статистически достоверное повышение уровня эмоциональной напряженности в области семейно-сексуальных отношений и ее снижение в сфере межличностных отношений. Полученные с помощью метода нейросемантической психодиагностики данные позволили уточнить направления эффективного использования методов психологической поддержки в период моделирования полной автономности экипажа при длительном межпланетном перелете.

Работа выполнена в рамках контракта между ГНЦ РФ – ИМБП РАН и Роскосмосом № 012-8616/07 от 2 мая 2007 г.

Список литературы

1. Мясников В.И., Степанова С.И., Сальницкий В.П. и др. Проблема психической астенизации в длительном космическом полете / В.И. Мясников, С.И. Степанова, ред. М., 2000.
Myasnikov V.I., Stepanova S.I., Salnitsky V.P. et al. The problem of mental asthenia in long-term space flight / V.I. Myasnikov, S.I. Stepanova, eds. Moscow, 2000.
2. Гущин В.И. Проблемы дистанционного общения изолированных малых групп // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 5. С. 39–46.
Gushchin V.I. Problems of distant communication of isolated small groups // *Fiziologiya cheloveka*. 2003. V. 29. № 5. P. 39–46.
3. Мясников В.И., Гущин В.И., Юсупова А.К., Попова И.И. Предварительные результаты психологического анализа коммуникаций экипажей Международной космической станции // Вестн. Том. гос. пед. ун-та. Сер. Гуманитарные науки, психология. 2005. Вып. 1 (45). С. 112–118.
Myasnikov V.I., Gushchin V.I., Yusupova A.K., Popova I.I. Preliminary results of the psychological analysis of International space station communications // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Ser. Gumanitarnye nauki, psikhologiya*. 2005. V. 1 (45). P. 112–118.
4. Петренко В.Ф. Многомерное сознание: психосемантическая парадигма. М., 2010.
Petrenko V.F. Multidimensional conscious: the psychosemantic paradigm. Moscow, 2010.
5. Квасовец С.В., Иванов А.В., Бубеев Ю.А. Анализ подпорогового восприятия вербальных стимулов как инструмент психодиагностического исследования // Психол. журн. 2002. № 3. С. 45–54.
Kvasovets S.V., Ivanov A.V., Bubeev Yu.A. The analysis of under threshold perception of verbal stimuli as a tool of psychological diagnosis // *Psikhologicheskii zhurnal*. 2002. № 3. P. 45–54.
6. Ушаков И.Б., Бубеев Ю.А. Влияние факторов участия в локальном вооруженном конфликте на здоровье военнослужащих. «Война или здоровье?»: Сост. И. Тайпале: Пер. с англ. Архангельск, 2004. С. 356–361.
Ushakov I.B., Bubeev Yu.A. The effect of participation in military operations on the health of soldiers. «War or health?» Compiled by J. Taipale. Foreword by Kofi Annan. Transl. from English. Arkhangelsk, 2004. P. 356–361.
7. Бубеев Ю.А., Ушаков И.Б., Квасовец С.В. и др. Неосознаваемые компоненты психофизиологических реакций в эксперименте со 105-суточной изоляцией // Авиакосм. и экол. мед. 2002. Т. 36. № 4. С. 11–16.
Bubeev Yu.A., Ushakov I.B., Kvasovets S.V. et al. Components of the unconscious psychophysiological reactions in the experiment with 105-day isolation // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2002. V. 36. № 4. P. 11–16.
8. Петренко В.Ф. Введение в экспериментальную психосемантику: исследование форм репрезентации в обыденном сознании. М., 1983.
Petrenko V.F. Introduction to experimental psychosemantics: study of the representative forms in ordinary consciousness. Moscow, 1983.
9. Костандов Э.А. Функциональная асимметрия полушарий мозга и неосознаваемое восприятие. М., 1983.
Kostandov E.A. Brain hemispheres functional asymmetry and unconscious perception. Moscow, 1983.
10. Основы психофизиологии / Ю.И. Александров, ред. М., 1998. С. 220–243.
Fundamental psychophysiology / Yu.I. Alexandrov, ed. Moscow, 1998. P. 220–243.
11. Квасовец С.В., Иванов А.В. Подпороговое восприятие вербальных стимулов и психосемантика: разработка методического подхода // Психол. журн. 2001. № 5. С. 86–93.
Kvasovets S.V., Ivanov A.V. Subthreshold perception of verbal stimuli and psychosemantics: development of a methodological approach // *Psikhologicheskii zhurnal*. 2001. № 5. P. 86–93.

12. *Артемяева Е.Ю.* Семантические измерения как модели // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 1991. № 1. С. 61–72.
- Artemyeva E.Yu.* Semantic measures as models // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 14. Psychologiya. 1991. № 1. P. 61–72.
13. *Dixon N.F.* Preconscious processing. N.Y., 1981.
14. *Lang P., Bradley M.M., Cuthbert B.N.* Motivated attention: Affect, activation and action / Attention and orienting: Sensory and motivational processes / P.J. Lang, R.F. Simons, M.T. Balaban, eds. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 1998. P. 97–136.
15. *Jungöfer M., Bradley M., Elbert T., Lang P.* Fleeting images: a new look at early emotion discrimination // Psychophysiol. 2001. V. 38. P. 175–178.
16. *Квасовец С.В., Иванов А.В., Курчакова М.С.* Отражение аффективной насыщенности изображений в показателях вызванных потенциалов // Психол. журн. 2007. Т. 28. № 3. С. 84–94.
- Kvasovets S.V., Ivanov A.V., Kurchakova M.S.* The reflection of the affective intensity of images in the parameters of evoked potentials // Psikhologicheskii zhurnal. 2007. V. 28. № 3. P. 84–94.
17. *Киришбаум Э., Еремеева А.* Психологическая защита. М., 2000.
- Kirschbaum E., Eremeeva A.* Psychological protection. Moscow, 2000.
18. *Грановская Р.М.* Психологическая защита. СПб., 2007.
- Granovskaya R.M.* Psychological defense. Saint Petersburg, 2007.
19. *Калюжный Л.В.* Физиологические механизмы регуляции болевой чувствительности. М., 1984.
- Kalyuzhnyi L.V.* Physiological mechanisms of pain sensitivity regulation. Moscow, 1984.
20. *Кочубей Б.И.* Психофизиология личности (физиологические подходы к изучению активного субъекта). М., 1990. (Итоги науки и техники. Т. 40. Сер. «Физиология человека и животных»).
- Kochoubey B.I.* Psychophysiology of personality (physiological approaches to the study of the active entity). Moscow, 1990. (Results of science and technology. V. 40. Series of «Human and animal physiology»).
21. *Костандов Э.А.* Психофизиология бессознательного // Основы психофизиологии / Ю.И. Александров, ред. М., 1997. С. 220–243.
- Kostandov E.A.* Psychophysiology of unconscious // Fundamental psychophysiology / Yu.I. Alexandrov, ed. Moscow, 1997. P. 220–243.
22. Практикум по психологии посттравматического стресса / Н.В. Тарабрина, ред. СПб., 2001.
- Workshop on psychology of post-traumatic stress // N.V. Tarabrina, ed. Saint Petersburg, 2001.
23. Нейропсихология: хрестоматия / Е.Д. Хомская, ред. СПб., 2010.
- Neuropsychology: Reading-book / E.D. Khomskaya, ed. Saint Petersburg, 2010.
24. *Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А.* Функциональные асимметрии человека. М., 1988.
- Bragina N.N., Dobrokhotova T.A.* Human functional asymmetry. Moscow, 1988.
25. *Жаворонкова Л.А.* Правши – левши: межполушарная асимметрия биопотенциалов мозга человека. Краснодар, 2009.
- Zhavoronkova L.A.* Right-handed, left-handed: biopotential hemispheric asymmetry of the human brain. Krasnodar, 2009.
26. *Gainotti G.* The meaning of emotional disturbances resulting from unilateral brain injury // Emotions and the dual brain / G. Gainotti, C. Caltagirone, eds. Berlin, 1989. P. 147–167.
27. *Kolb B., Whishaw I.Q.* Fundamentals of human neuropsychology. N.Y., 1990.
28. *Davidson R.J.* Cerebral asymmetry and emotion: Conceptual and methodological conundrums // Cognit. and Emot. 1993. № 7. P. 115–138.

Поступила 13.12.2013

UNCONSCIOUS COMPONENTS OF THE PSYCHOPHYSIOLOGICAL REACTIONS OF THE PARTICIPANTS IN THE EXPERIMENT WITH 520-DAY ISOLATION

Ushakov I.B., Bubeev Yu.A., Kotrovskaya T.I., Kvasovets S.V., Ivanov A.V.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 1. P. 39–47

Six participants in MARS-500 were examined in an effort to gather information about intrapersonal conflicts and life spheres with high emotional tension associated with participation in the experiment with extended group isolation. The investigation was performed using the operational analogy-based neuro-semantic psychodiagnostics which allows to regard the subconscious as a semantic filter with unstructured semantic information at the input and information structured by the inner world content at the output. The results shed light on the semantic structure of subjective experience and functioning of protective mechanisms, as well as organizational levels and modality of emotional experience. Prior to and after 520-day isolation, all the participants were shown to have intrapersonal conflicts and high emotional tension in the socio-professional sphere, caused by the family/sexual and interpersonal relations and self-rating, and concerns about life and health. On the completion of isolation, the psychoemotional tension reduced quantitatively in interpersonal relations and increased in family/sexual.

Key words: the subconscious, unconscious stimuli, neuro-semantic psychodiagnostics, intrapersonal conflict, psychoemotional tension, extended group isolation

УДК 613.693+612.4:612

ПОСТОЯННЫЕ БЕЛКИ МОЧИ ЗДОРОВОГО ЧЕЛОВЕКА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ С 520-СУТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Пастушкова Л.Х.^{1, 2}, Киреев К.С.^{1, 3}, Кононихин А.С.^{4, 5}, Тийс Е.С.⁷, Попов И.А.^{4, 5}, Доброхотов И.В.^{1, 2}, Кусто М.-А. (Custaud M.-A.)^{2, 6}, Иванисенко В.А.⁷, Колчанов Н.А.⁷, Николаев Е.Н.^{4, 5}, Почуев В.И.³, Ларина И.М.^{1, 2}

¹Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва

²Ассоциированная российско-французская лаборатория CaDyWEC, Москва – г. Анже, Франция

³Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, Московская область

⁴Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, Москва

⁵Институт энергетических проблем химической физики Российской академии наук, Москва

⁶Университет Анже, Франция

⁷Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск

e-mail: irina.larina@gmail.com

Целью работы являлся поиск постоянных белков протеома мочи здоровых лиц в эксперименте с 520-суточной изоляцией в наземном экспериментальном комплексе ГНЦ РФ – ИМБП РАН в контролируемых условиях с использованием автономных систем жизнеобеспечения. Объектом исследования служили образцы мочи 6 здоровых мужчин в возрасте от 25 до 37 лет. Сбор образцов биологического материала для протеомного исследования (вторая утренняя фракция мочи) осуществляли в фоновый период, на 50, 93, 124, 153, 180, 251, 274, 303, 330, 371, 400, 427-е сутки изоляции, а также на 7-е сутки по окончании эксперимента. Проведен хромато-масс-спектрометрический анализ образцов и выполнен анализ полученных результатов с использованием биоинформационных ресурсов. Выявлено 7 постоянных белков мочи, которые наблюдались на протяжении всего исследования: эпидермальный фактор роста, полимерный рецептор иммуноглобулина, ингибитор сериновых протеаз плазмы, белок AMBP, кератин (тип II цитоскелета 1), коллаген альфа-1 (VI) цепи, сывороточный альбумин.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 1. С. 48–54.

В пуловых образцах мочи может быть выявлено до 3500 белков, синтезируемых в различных клетках и тканях организма [3]. Белки обнаруживаются в моче после сложных процессов фильтрации в клубочках почек, реабсорбции, синтеза в отделах нефрона и секреции. Протеомика мочи активно используется в клинической медицине для диагностики и дифференциальной диагностики, мониторинга лечения, прогноза различных заболеваний почек, мочевыводящих путей, при трансплантации почек и печени, в онкологии, педиатрии, в клинике сердечно-сосудистых заболеваний, при болезни Альцгеймера, осложнениях диабета, гепатите С,

иммунодефицитных состояниях [4]. Одним из актуальных вопросов для протеомных исследований мочи остается вопрос о стандартизации показателей концентрации белков в образце мочи, поскольку для протеомных исследований всегда используется одна из фракций мочи, обрабатываемая *ex tempore* для предотвращения неконтролируемого протеолиза. В настоящее время для этого используются 3 приема стандартизации: по концентрации общего белка, определяемого спектрофотометрически, по концентрации альбумина или креатинина. Каждый из перечисленных приемов не безупречен, поскольку процессинг белков в почке сложен и в разных отделах нефрона зависит от различных факторов, в том числе от состояния водного и натриевого обмена, кислотно-щелочного равновесия. Кроме того, можно предположить, что ввиду значительных различий в молекулярном весе и заряде молекул белков зависимость процессов их фильтрации в клубочках, реабсорбции, секреции от функционального состояния почки, по-видимому, достаточно сложна [6]. Последнее соображение, очевидно, исключает применение для стандартизации протеомных результатов исследования мочи уровня какого-то одного белка, будь то постоянно присутствующие в ней альбумин, уромодулин или микроглобулины. Полагая, что изучение белкового состава мочи, определяемого с помощью методов протеомики в контролируемых условиях у здоровых лиц, с одной стороны, может дать ключ к пониманию молекулярных механизмов гомеостаза, а с другой – позволит выявить границы адаптивной пластичности, сохраняющей целостность живой системы, а также найти методы стандартизации протеомных результатов на основе выявления постоянной составляющей белковой композиции мочи.

Целью работы являлся поиск постоянных белков протеома мочи здоровых лиц в условиях 520-суточной изоляции при регистрируемых режимах солепотребления. Новым в решении этой задачи являлось изучение белковой композиции мочи здоровых испытуемых в контролируемых условиях на протяжении 520 сут с использованием протеомных технологий получения данных и современных биоинформационных подходов к их анализу.

Методика

Объектом исследования служили образцы мочи 6 здоровых мужчин в возрасте от 25 до 37 лет. Испытуемые находились 520 сут в наземном экспериментальном комплексе ГНЦ РФ – ИМБП РАН (НЭК ИМБП) при использовании автономных систем жизнеобеспечения. Одним из условий эксперимента был контролируемый, но периодически изменяющийся режим потребления соли.

Проведение балансовых исследований на протяжении первой половины эксперимента требовало от испытуемых полного потребления всех продуктов рациона питания, а также учета потребления жидкости. После 251-х суток и до конца восстановительного периода режим солепотребления не учитывался. Разработанные для использования в данном эксперименте рационы питания по содержанию необходимых организму человека пищевых веществ соответствовали принятым физиологическим нормам для контингентов, чья профессиональная деятельность по энерготратам относится к категории средней тяжести. Пищевой состав рационов отвечал рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), а также был согласован с российско-американскими нормами по пищевому составу рационов для экипажей Международной космической станции. Сбор образцов биологического материала для протеомного исследования (2-я утренняя фракция мочи) осуществляли в фоновом периоде на 50, 93, 124, 153, 180, 251, 274, 303, 330, 371, 400, 427-е сутки изоляции, а также на 7-е сутки по окончании эксперимента. Вторая фракция мочи была признана наименее вариабельной по белковому составу, вследствие чего наиболее пригодной для протеомных исследований, в протоколе подготовки проб *ex tempore*. Предварительная обработка полученного биоматериала и пробоподготовка образцов к хромато-масс-спектрометрии состояла из этапов, описанных ранее [7].

Хромато-масс-спектрометрический анализ проводился на системе, состоящей из хроматографа Agilent 1100 (Agilent Technologies Inc., Санта-Клара, США) и гибридного масс-спектрометра LTQ-FT Ultra (Thermo, Бремен, Германия) – масс-спектрометр ионного циклотронного резонанса (ИЦР), совмещенный с линейной квадрупольной ионной

ловушкой, использующейся для накопления ионов и измерения спектров столкновительно-индуцированной фрагментации (МС/МС) ионов.

Для хроматографии использовали колонку с обращенной фазой ReproSil-Pur C18 (диаметр частиц 3 мкм, диаметр пор 100 Å, Dr. Maisch GmbH, Аммербух-Энтринген, Германия), изготовленную с использованием капилляра-эммитера (Pico-tip, New Objective Inc., США) способом, описанным в работе [14]. В качестве подвижной фазы использовали растворитель А: H₂O–HCOOH (1000 : 1, по объему), растворитель В: CH₃CN–HCOOH (1000 : 1, по объему). Выполнялась градиентная хроматография с линейным увеличением относительного содержания растворителя В в потоке от 5 до 50 % за 90 мин, после каждого эксперимента система промывалась 95 %-ным ацетонитрилом в течение 15 мин, а затем 100 %-ным растворителем А еще 5 мин. Измерение масс-спектров продуктов хроматографического разделения производилось в диапазоне от *m/z* 300 до 1600 Th *m/z*.

Биоинформационные методы. Список из точных масс пептидов и масс их фрагментов использовался для поиска и идентификации белков по базе данных IPI-human (международные индексы белков) при помощи программы Mascot (Matrix Science, Лондон, Великобритания; версия 2.0.04). Основные параметры для Mascot-поиска были следующие: 1) enzyme – trypsin; 2) peptide tolerance ± 5 ppm; 3) MS/MS (fragments) tolerance $\pm 0,5$ Да. В списке белков, полученном в результате Mascot поиска, достоверными считались только те, для которых были идентифицированы 2 и более триптических пептида с рейтингом (score) > 24. Для автоматической фильтрации и сравнительного анализа списка белков результаты Mascot поиска обрабатывались с помощью программного обеспечения, разработанного в лаборатории Е.Н. Николаева [1]. Для определения места образования, функции белков, а также для анализа биологических процессов, в которых участвуют обнаруженные в моче белки, использовались открытые биоинформационные ресурсы: UniProt KB, Tissue-specific Gene Expression and Regulation (TiGER), Gene Ontology (GO).

Результаты и обсуждение

Результаты хромато-масс-спектрометрического анализа образцов мочи, полученных в ходе 520-суточной изоляции, были представлены отчетами по идентификации IPI-индексов белков в базе данных Mascot. Пробы мочи испытуемых были проанализированы протеомными методами индивидуально трижды, и для последующего анализа были отобраны пептиды, выявленные в 2 или 3 повторах. В образцах мочи 6 испытуемых всего было достоверно обнаружено 229 различных белков.

Характеристика тканевой принадлежности, процессов, в которых участвуют постоянные белки протеома мочи

Название белка	Название гена	Молекулярный вес, Да	Тканевая принадлежность	Процессы (согласно базе данных GO)
Эпидермальный фактор роста	EGF	133,994	Почки, слюнные железы, головной мозг, предстательная железа	Ангиогенез, регуляция сигнальных путей рецептора эпидермального фактора роста, активация тромбоцитов, положительная регуляция поступления катенина в ядро, положительная регуляция MAP (митоген-активируемой протеинкиназы), положительная регуляция митоза, регуляция локализации белков на клеточной поверхности
Полимерный рецептор иммуноглобулина	PIGR	83,284	Толстая кишка	Рецептор, связывающий полимерный IgA и IgM на базолатеральной поверхности эпителиальных клеток, затем транспортируется через клетку для секреции на апикальной поверхности
Ингибитор сериновых протеаз плазмы	SERPINA5	45,675	Селезенка, печень, яички	Участвует в регуляции протеолиза, действует как прокоагулянт и провоспалительный фактор, ингибируя активированный С-белок, участвует в репродуктивной системе
Белок AMBP	AMBP	38,999	Печень	Клеточная адгезия, катаболизм гема, регуляция иммунного ответа, регуляция JNK-каскада, соединение белка с хромофором, межвидовое взаимодействие между организмами
Кератин, тип II цитоскелета	KRT1	66,039	Сердце, кожа	Регулирует деятельность киназ, таких как PKC и SRC путем связывания с интегрином бета-1 (ITB1) и рецептором активированной протеинкиназы C (RACK1/GNB2L1)
Коллаген альфа-1 (VI) цепи	COL6A1	108,529	Кости, сердце	Действует как клеточный структурный белок
Сывороточный альбумин	ALB	69,367	Селезенка, печень	Метаболизм и транспорт желчных кислот и их солей, гемолиз эритроцитов симбионтами, метаболизм липопротеинов, поддержание локализации митохондрий, регуляция апоптоза, мембранный транспорт, натрий-независимый транспорт органических анионов

На протяжении всего времени наблюдения (около 1,5 года) постоянными белками оставались только 7, к которым относились эпидермальный фактор роста, полимерный рецептор иммуноглобулина, ингибитор сериновых протеаз плазмы, белок AMBP, кератин (тип II цитоскелета 1), коллаген альфа-1 (VI) цепи, сывороточный альбумин. Данные белки были идентифицированы по 24, 35, 13, 35, 34, 33 и 33 пептидам соответственно и были общими для всех образцов, встречаясь в 95 % измерений перед началом эксперимента, на протяжении всего исследования и на 7-е сутки после его завершения, независимо от принадлежности к периодам различного солепотребления. Из баз данных UniProt KB и TiGER была извлечена информация о соответствии между регистрируемыми постоянными белками и тканями. Чтобы охарактеризовать физиологическую значимость этих белков, был проведен анализ биохимических процессов, в которых они участвуют, с помощью программы GO. Кроме того, выполнялся анализ данных литературы, относящихся к физиологической роли данных белков (табл.).

Значение и функции этих белков, проанализированные и обобщенные на основе данных литературы, приведены ниже.

Эпидермальный фактор роста (EGF) является одним из самых часто встречающихся белков в протеоме мочи. Открытый в 60-х годах XX в. американскими учеными, обнаружившими новый белок в коже, EGF играет важнейшую роль в регуляции жизнедеятельности клетки, регуляции транспорта ионов, восстановительных и обменных процессов в тканях организма [9]. Некоторые ткани, например дистальные канальцы почки, синтезируют препро-EGF, но не формируют зрелый EGF. EGF-продуцирующие клетки локализованы в толстой части восходящего колена и дистальных извитых канальцах почки мышей и крыс и, вероятно, у человека. Экскреция с мочой эпидермального фактора роста и белка Тамма – Хорсфалла была предложена в качестве потенциального маркера функции дистального канальца нефрона [22]. Рецепторы эпидермального фактора роста (EGF-R) поддерживают баланс между активностью клеточной пролиферации,

дифференцировки и апоптоза. Хорошо известно его участие в регуляции клеточного роста и миграции клеток. Активация рецепторов эпидермального фактора роста играет важную роль в регуляции почечной гемодинамики и транспорта ионов. Было показано, что EGF стимулирует реабсорбцию ионов Mg^{2+} в дистальных извитых канальцах нефрона.

Полимерный рецептор иммуноглобулина (PIGR) – это один из наиболее известных белков, циркулирующих в крови, который связывает IgA и IgM (иммуноглобулины классов А и М) на базолатеральной поверхности эпителиальных клеток [10]. Он участвует в структурно-функциональном синергизме между В-клеточной системой иммунитета и секреторным эпителием, обеспечивая антиген-независимый транспорт IgA из кровотока. мРНК PIGR была обнаружена в печени, кишечнике, желудке, легких, а также в клетках эпителия дистальных канальцев почек. По-видимому, благодаря тому, что трансмембранный компонент постоянно секретируется на поверхность слизистой оболочки в составе секреторного IgA, в том числе в мочевом пузыре и мочеиспускательном канале, белок PIGR является постоянным компонентом протеома мочи здорового человека [21].

Ингибитор сериновой протеазы плазмы, или ингибитор С-белка (IPSP, PCI), – это гликопротеин, состоящий из 387 аминокислотных остатков, принадлежащий суперсемейству серпинов (ингибиторов сериновой протеазы). Наиболее богатым источником белковых ингибиторов сериновых протеаз является плазма крови. Содержание ингибитора сериновой протеазы в плазме достигает до 10 % от общего содержания белков. Широкое распространение PCI обнаружено в тканях человека. Так, мРНК этого белка встречается во многих тканях и клетках: в печени, сперматозоидах, в мужских и женских репродуктивных органах, клетках почечных канальцев, кератиноцитах эпидермиса, тромбоцитах, тучных клетках, макрофагах и мегакариоцитах. По-видимому, PCI синтезируется в большинстве типов эпителия, покрывающего внешние и внутренние поверхности, поэтому белок обнаруживается в различных жидкостях тела. Этот белок инактивирует сериновые протеазы, связываясь с их активными сайтами, участвуя, таким образом, в регуляции активности протеаз внутри и вне сосудов. Он обладает кровоостанавливающим эффектом, действует как прокоагулянт и провоспалительный фактор, ингибируя активированный С-белок и комплекс тромбин-тромбомодулин, но в то же время может действовать как антикоагулянт, инактивируя такие факторы коагуляции крови, как тромбин, фактор Ха, фактор XI, калликреины плазмы и фибринолитические ферменты. Отмечено, что в моче PCI ингибирует урокиназный активатор плазминогена (u-PA) и калликреины и обладает антимикробными эффектами [17].

Данный белок способен транспортировать гидрофобные молекулы гормонов благодаря его способности связываться с ретиноевой кислотой. Помимо вышеуказанного, PCI участвует в оплодотворении, модулируя активность акрозина (сериновой протеазы сперматозоида) так, чтобы его высвобождение происходило только при связывании с яйцеклеткой, защищая, таким образом, окружающие ткани от разрушительного действия акрозина [8].

Белок AMBP является предшественником $\alpha 1$ -микроглобулина (A1M) и бикунина, 2 плазменных гликопротеинов плазмы. Первый белок является иммуносупрессивным липокалином, а 2-й – членом семейства ингибиторов сериновых протеиназ. AMBP преимущественно экспрессируется в печени, а также в мозжечке, легких, сердце, селезенке, поджелудочной железе, почках, надпочечниках [19]. В дальнейшем этот белок расщепляется в комплексе Гольджи гепатоцитов с образованием $\alpha 1$ -микроглобулина и бикунина, которые затем гликозилируются и секретируются из клетки. A1M широко распространен в различных физиологических жидкостях, включая плазму, мочу и спинно-мозговую жидкость. Он участвует в регуляции развития роста клетки, метаболизме и иммунном ответе, принимает участие в связывании и катаболизме гема. Окисленная форма гема, которая локализуется на мембране эритроцитов, высокотоксична для тканей, поэтому предполагают, что A1M защищает ткани от разрушительного действия гема при внесосудистом гемолизе, а также наряду с другими гемосвязывающими и антиокислительными веществами плазмы (альбумин, гемопексин, витамин Е) связывает гем при обширном внутрисосудистом гемолизе [5]. Исследование методом ПЦР показало, что AMBP экспрессируется в клетках почечных канальцев, причем этот синтез чувствителен к концентрации оксалатов. Физиологическое значение синтеза A1M и бикунина в эпителии почек не ясно, предполагают, что они имеют иммуносупрессивные свойства, а также являются ингибиторами процесса камнеобразования оксалатом кальция в почках [11].

Кератин (тип II цитоскелета 1, или цитокератин 1) принадлежит к семейству кератинов и является компонентом центрального протеома. Кератины – это основные структурные белки эпидермиса позвоночных, до 85 % их числа содержится в дифференцированных кератиноцитах, и вместе с актиновыми филаментами и микротрубочками они образуют цитоскелет эпителиальных клеток позвоночных [20]. Семейство кератинов состоит из множества структурно схожих белков, которые экспрессируются парами: тип I (кислые белки) и тип II (основные белки). В настоящее время выявлено 20 типов цитокератинов – CK1 – CK20. Спектр цитокератинов в эпителиальных клетках зависит от типа дифференцировки и положения клетки в эпителиальном

пласте. Присутствие цитокератинов в клетке является признаком, который может быть использован для идентификации эпителия: каждому виду эпителиальных клеток с определенной функцией и локализацией соответствует характерный набор цитокератиновых полипептидов [2].

Показано, что кератин 1 участвует в ответе клетки на окислительный стресс, который увеличивает экспрессию кератина 1 эндотелия и активирует лектиновый путь активации комплемента (LCP, lectin-complement pathway) посредством присоединения маннозсвязывающего лектина (MBL, mannose binding lectin) к цитокератину 1. В протеоме мочи в качестве потенциальных маркеров рака мочевого пузыря с помощью двухмерного гель-электрофореза в сочетании с времяпролетной масс-спектрометрией было обнаружено 14 белков, в том числе белок AMBP и кератин типа II цитоскелета 1 [16].

Коллаген альфа-1 (VI) цепи является альфа-цепью коллагена VI, внеклеточного компонента, который присутствует в соединительной ткани и хряще, где образует множество структурно уникальных микрофибрилл вблизи базальной мембраны. Коллаген VI является основным компонентом базальной мембраны, обладает адгезивными свойствами и взаимодействует с рядом молекул внеклеточного матрикса, участвуя в клеточной сигнализации и миграции клеток. Однако его роль полностью не ясна. Коллаген синтезируют и секретируют во внеклеточное пространство многие клетки, но в количественном отношении главными продуцентами коллагена являются клетки фибробластов. Синтез коллагена, кроме обычных внутриклеточных стадий, включает стадию внеклеточной модификации, завершающуюся образованием коллагеновых волокон. Коллаген VI является одним из важных компонентов внеклеточного матрикса, поддерживающим структурную целостность скелетных мышц. Дефект структуры коллагена VI вызывает аномалии мышечной плазматической мембраны, дистрофические изменения в мышцах. Недавние исследования показали, что коллаген VI соединяет базальную мембрану с перичеселлюлярным матриксом в мышце и при нарушении этой связи возникает врожденная мышечная дистрофия Ульриха [13]. Коллаген VI содержит участки взаимодействия с клеточными рецепторами из семейства интегринов. Описаны 3 цепи коллагена VI: $\alpha 1(VI)$, $\alpha 2(VI)$ и $\alpha 3(VI)$. Цепи $\alpha 1(VI)$ и $\alpha 2(VI)$ схожи по длине (140 кДа) и структуре. Вместе 3 цепи образуют тройную цепь длиной 100 нм с глобулярными доменами на N- и C-конце. Мутации в любой цепи коллагена VI ведут к миопатии Бэтлема или к врожденной мышечной дистрофии Ульриха [15].

Сывороточный альбумин (ALB) – это основной транспортный белок плазмы крови, который выполняет транспортные функции для воды, ионов кальция, натрия, калия, жирных кислот, гормонов,

билирубина и участвует в поддержании осмоляльности плазмы крови. Также альбумин является основным депо цинка (связывает 75–85 % всего количества цинка в плазме, создавая так называемый обменный пул цинка). Показано, что связывание цинка и жирных кислот альбумином взаимозависимо, что имеет физиологическое значение.

Известно, что в почках отфильтровывается несколько сотен мг протеинов плазмы ежедневно, включая сывороточный альбумин (около 3,3 г альбумина/сутки) [23]. Эффективный радиус альбумина составляет около 36 Å, что позволяет ему достаточно свободно проходить через гломерулярную мембрану. Однако в норме в моче обнаруживается лишь незначительное количество белка (альбумина < 5 мг/л). Альбумин реабсорбируется в проксимальных канальцах путем рецептор-опосредованного эндоцитоза.

Альбумин человека является уникальным многофункциональным белком, обладающим защитными свойствами, он защищает клетки от апоптоза при хронической лимфоцитарной лейкемии. Исследования показывают, что человеческий альбумин оказывает защитное действие благодаря антиоксидантным и антиапоптотическим механизмам, противодействуя эндогенным и экзогенным источникам окислительного стресса, превышая эффекты витамина E в 10–20 раз. Внутривенное введение средних и высоких доз альбумина человеку ослабляет повреждение тканей головного мозга при ишемическом инсульте и при черепно-мозговой травме. Синтез альбумина положительно коррелирует с объемом плазмы крови и концентрацией фибриногена. Альбуминурия является важным маркером риска сердечно-сосудистых и почечных заболеваний [14].

Таким образом, в проведенном исследовании мы дали характеристику постоянной составляющей протеома мочи здорового человека на протяжении 520 сут его пребывания в максимально стандартизованных условиях жизнедеятельности, вне зависимости от режима водо- и каллепотребления. По полученным данным постоянный субпротеом мочи составляют 7 белков: эпидермальный фактор роста, полимерный рецептор иммуноглобулина, ингибитор сериновых протеаз плазмы, кератин (тип II цитоскелета 1), коллаген альфа-1 (VI) цепи, сывороточный альбумин, белок AMBP. Интересно, что среди выявленных постоянно присутствующих белков есть белки с молекулярным весом больше, чем у альбумина (70 Да): коллаген альфа-1 (VI) цепи, эпидермальный фактор роста, полимерный рецептор иммуноглобулина. Это, очевидно, показывает механизм их попадания в мочу через секрецию клетками эпителия почечных канальцев.

Четыре выявленных в данном исследовании белка (сывороточный альбумин, эпидермальный фактор роста, белок AMBP и полимерный рецептор иммуноглобулина), по данным авторов работы [18],

входят в список наиболее распространенных белков протеома мочи. Набор постоянных белков, выявленных в моче другими лабораториями, отличается от установленного нами, вероятно, объясняется различиями в используемых методах. В меньшей степени он зависит и от критериев формирования когорты здоровых обследуемых, их пола, возраста, расовой принадлежности и других индивидуальных особенностей.

С практической точки зрения важность изучения постоянных белков протеома мочи определяется тем, что только они могут использоваться как стандарты при определении концентрации других белков в моче. Разделяя постоянные белки на независимые от состояния организма и белки, свойственные идеальной норме в покое или на фоне функциональной пробы, в перспективе можно создать паспорт здоровья, с учетом источника белков, их клеточной локализации и тканевой специфичности.

Работа частично поддержана грантом Президента РФ поддержки ведущих научных школ НШ-4592.2010.4, грантом РФФИ 13-04-01894.

Список литературы

1. Агрон И.А., Автономов Д.М., Кононихин А.С. и др. База данных по точным массово-временным меткам для хромато-масс-спектрометрического анализа протеома мочи // Биохимия. 2010. Т. 75. № 4. С. 598–605.
2. Бабиченко И.И., Ковязин В.А. Новые методы иммуногистохимической диагностики опухолевого роста. М., 2008.
3. Adachi J., Kumar C., Zhang Y. et al. The human urinary proteome contains more than 1500 proteins, including a large proportion of membrane proteins // Genome Biol. 2006. V. 7. № 9. P. R80.
4. Albalat A., Mischak H., Mullen W. Urine proteomics in clinical applications: technologies, principal considerations and clinical implementation // Prilozi. 2011. V. 32. № 1. P. 13–44.
5. Allhorn M., Berggård T., Nordberg J. et al. Processing of the lipocalin alpha(1)-microglobulin by hemoglobin induces heme-binding and heme-degradation properties // Blood. 2002. V. 15. № 99. P. 1894–1901.
6. Christensen E.I., Gburek J. Protein reabsorption in renal proximal tubule-function and dysfunction in kidney pathophysiology // Pediatr. Nephrol. 2004. V. 19. № 7. P. 714–721.
7. Court M., Selevsek N., Matondo M. et al. Toward a standardized urine proteome analysis methodology // Proteomics. 2011. V. 11. № 6. P. 1160–1171.
8. España F., Navarro S., Medina P. et al. The role of protein C inhibitor in human reproduction // Semin. Thromb. Hemost. 2007. V. 33. № 1. P. 41–45.
9. Glogowska A., Stetefeld J., Weber E. et al. Epidermal growth factor cytoplasmic domain affects ErbB protein degradation by the lysosomal and ubiquitin-proteasome pathway in human cancer cells // Neoplasia. 2012. V. 14. № 5. P. 396–409.
10. Hamburger A.E., West A.P. Jr., Bjorkman P.J. Crystal structure of a polymeric immunoglobulin binding fragment of the human polymeric immunoglobulin receptor // Structure. 2004. V. 12. № 11. P. 1925–1935.
11. Igci M., Arslan A., Igci Y.Z. et al. Bikunin and α 1-microglobulin/bikunin precursor (AMBP) gene mutational screening in patients with kidney stones: a case-control study // Scand. J. Urol. Nephrol. 2010. V. 44. № 6. P. 413–419.
12. Ishihama Y., Rappsilber J., Andersen J.S., Mann M. Microcolumns with self-assembled particle frits for proteomics // J. Chromatogr. A. 2002. V. 979. № 1–2. P. 233–239.
13. Ishikawa H., Sugie K., Murayama K. et al. Ullrich disease due to deficiency of collagen VI in the sarcolemma // Neurol. 2004. V. 62. № 4. P. 620–623.
14. Kuritzky L., Toto R., Van Buren P. Identification and management of albuminuria in the primary care setting // J. Clin. Hypertens. (Greenwich). 2011. V. 13. № 6. P. 438–449.
15. Lampe A.K., Bushby K.M. Collagen VI related muscle disorders // J. Med. Genet. 2005. V. 42. № 9. P. 673–685.
16. Lei T., Zhao X., Jin S. et al. Discovery of potential bladder cancer biomarkers by comparative urine proteomics and analysis // Clin. Genitourin. Cancer. 2013. V. 11. № 1. P. 56–62.
17. Malmström E., Mörgelin M., Malmsten M. et al. Protein C inhibitor – a novel antimicrobial agent // PLoS Pathog. 2009. V. 5. № 12. P. e1000698.
18. Nagaraj N., Mann M. Quantitative analysis of the intra- and inter-individual variability of the normal urinary proteome // J. Proteome Res. 2011. V. 10. № 2. P. 637–645.
19. Rouet P., Raguenez G., Ruminy P., Salier J.P. An array of binding sites for hepatocyte nuclear factor 4 of high and low affinities modulates the liver-specific enhancer for the human alpha1-microglobulin/bikunin precursor // Biochem. J. 1998. V. 15. № 334. P. 577–584.
20. Schweizer J., Bowden P.E., Coulombe P.A. et al. New consensus nomenclature for mammalian keratins // J. Cell Biol. 2006. V. 174. № 2. P. 169–174.
21. Tan Y., Zhang J.J., Liu G. et al. The level of urinary secretory immunoglobulin A (sIgA) of patients with IgA nephropathy is elevated and associated with pathological phenotypes // Clin. Exp. Immunol. 2009. V. 156. № 1. P. 111–116.
22. Thulesen J., Jørgensen P.E., Torffvit O. et al. Urinary excretion of epidermal growth factor and Tamm-Horsfall protein in three rat models with increased renal excretion of urine // Regul. Pept. 1997. V. 72. № 2–3. P. 179–186.
23. Tojo A., Kinugasa S. Mechanisms of glomerular albumin filtration and tubular reabsorption // Int. J. Nephrol. 2012. URL: <http://www.hindawi.com/journals/ijn/2012/481520/>.

Поступила 02.07.2013

PERMANENT PROTEINS IN HEALTHY HUMAN'S URINE IN THE EXPERIMENT WITH 520-DAY ISOLATION

Pastushkova L.Kh., Kireev K.S., Kononikhin A.S., Tiys E.S., Popov I.A., Dobrokhoto I.V., Custaud M.-A., Ivanisenko V.A., Kolchanov N.A., Nikolaev E.N., Pochuev V.I., Larina I.M.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 1. P. 48–54

Purpose of the study was to track permanent proteins of urine proteome in the 520-day isolation experiment at the IBMP Ground-Based Test Facility with

controlled environmental parameters. Object of the investigation was urine sampled from 6 normal male subjects at the age of 25 to 37 years. Second morning aliquots were gathered during baseline data collection, on days 50, 93, 124, 153, 180, 251, 274, 303, 330, 371, 400 and 427 of isolation, and in 7 days after its completion. Samples were subject to chromatography-mass spectrometry; results were analyzed with the help of bioinformatics resources. The following 7 permanent proteins were observed in urine over the entire length of the investigation: epidermal growth factor, polymer immunoglobulin receptor, plasma serine protease inhibitor, protein AMBP, keratin, type II cytoskeletal 1, collagen alpha-1 (vi) chain, serum albumin.

УДК 616-057:616-06(261.26)

ОСОБЕННОСТИ КОМОРБИДНОСТИ У ЛЕТНОГО СОСТАВА СЕВЕРНОГО ФЛОТА, ДИСКВАЛИФИЦИРОВАННОГО ПО СОСТОЯНИЮ ЗДОРОВЬЯ

Милошевский А.В., Мызников И.Л.

Медицинская служба Северного флота, г. Североморск
e-mail: myznikov@nm.ru

Проанализированы 202 свидетельства о болезни летного состава морской авиации Северного флота, предложены новые показатели: число коморбидности и пропись коморбидности. Установлено, что ведущими в структуре дисквалификации летчиков по медицинским показаниям на Северном флоте остаются психосоматические заболевания (до 60 %), в патогенезе которых присутствует стрессовый фактор.

Предложено перейти от нозологического уровня диагностики к физиологическому в интересах врачебно-летней экспертизы.

Рассмотрена методика вероятностного моделирования в патогенезе хронической патологии, что может стать основой для программирования в технологии анти-рисковой реабилитации летчиков.

Ключевые слова: морская медицина, адаптация физиологическая, летчики, коморбидность, Европейский Север, методика анализа.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 1. С. 54–58.

Неблагоприятные факторы профессиональной деятельности летчиков приводят к ухудшению функционального состояния и снижению резервов их здоровья, что негативно сказывается на

качестве и безопасности полетов [1].

Сохранение здоровья и продление профессионального долголетия летчиков требуют систематического анализа причин их дисквалификации, изучения неблагоприятных факторов летного труда и разработки лечебно-профилактических мероприятий, направленных на повышение работоспособности и уровня здоровья летчиков [9].

Несмотря на отдельные исследования, проблема анализа преморбидных состояний, их патогенеза и комплексной оценки здоровья летчиков морской авиации изучена недостаточно, что послужило основанием для проведения данной работы.

Методика

В исследовании проанализированы 202 свидетельства о болезни летчиков морской авиации Северного флота, оформленные в 1992–2012 гг.

Группировка проводилась по основному на момент принятия экспертного решения, наиболее значимому в клинко-экспертном плане заболеванию, определявшему негодность к летной работе. В качестве сопутствующих (с целью исключения влияния случайных факторов) учитывались только те

заболевания, наличие которых предусматривало или индивидуальную оценку, или негодность к профессиональной деятельности.

Заболевания распределялись по классам Международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем 10-го пересмотра (МКБ-10).

Для обобщенной оценки сложности диагноза использовалось «число коморбидности» (ЧК), представляющее собой величину, характеризующую отношение количества основных диагнозов заболеваний к количеству всех диагностированных сопутствующих заболеваний в исследуемой популяции лиц. Фактически данный показатель характеризуется числом сопутствующих заболеваний, приходящихся на одно основное в исследованной выборке наблюдений [2, 3].

Результаты и обсуждение

По материалам многолетних наблюдений [4] усредненная заболеваемость в летных подразделениях, базирующихся на Европейском Севере, составляет в истребительно-бомбардировочной авиации около 607,5 ‰, в вертолетной – 385,3 ‰. В структуре первичной заболеваемости летчиков острые заболевания органов дыхания составляли 34,8–45,9 %, заболевания сердечно-сосудистой системы – 13,0–13,1 %, травмы – 9,0–12,3 % и заболевания желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) – 7,4–8,9 %.

Динамика заболеваемости летного состава гражданской авиации с временной утратой трудоспособности составляет 0,86 и 13,8 ‰ дней трудопотери, частота острых нарушений здоровья у лиц летного состава около 2–3 ‰ [5].

По данным авторов работы [6], у лиц гражданской авиации, признанных негодными к полетам по результатам экспертной оценки здоровья, в четверти случаев функциональные состояния оценивались как «удовлетворительная адаптация», что демонстрирует высокие пороги индивидуальной компенсации у летчиков. В то же время среди признанных годными к летной работе 48 % были отнесены к лицам с высоким риском донозологических состояний. Данные результаты свидетельствуют о временном характере физиологической адаптации при хронических заболеваниях и временном сохранении работоспособности лиц, в том числе летного состава, несмотря на то что к летной работе по результатам профессионального отбора допускаются лица, обладающие высокими резервными возможностями организма.

По данным работы [7], заболевания системы пищеварения, ставшие причиной дисквалификации летного состава при стаже работы 17–18 лет, встречаются в 17–20 % от всей патологии (в структуре заболеваний внутренних органов 25–28 %) и как при-

чина дисквалификации летного состава по частоте уступают лишь заболеваниям сердечно-сосудистой системы. При этом основными нозологическими формами являются гастрит, дуоденит (30–35 %) и язвенная болезнь желудка (ЯБЖ) и двенадцатиперстной кишки (ЯБ12ПК) (32–37 %).

Наибольшее число случаев по основному диагнозу приходилось на болезни органов пищеварения (класс XI, без 1-й группы (болезни полости рта, слюнных желез и челюстей)). Чаще других встречались ЯБ12ПК и ЯБЖ, относящиеся к классу XI, K25–K26 (83 случая, или 41,1 % выборки). Среди сопутствующих заболеваний отмечены остеохондроз, алиментарно-конституционное ожирение (АКО) I и II ст., узловой эутиреоидный зоб, атеросклероз аорты, атеросклеротический кардиосклероз без сердечной недостаточности, хронический простатит, хронический геморрой, доброкачественные образования (липомы, пигментные невусы), доброкачественная гипербилирубинемия.

Язвенная болезнь в 12 случаях протекала как монопатология. У 5 человек (2,5 % выборки) была диагностирована желчнокаменная болезнь (класс XI, K80). На момент освидетельствования они отказались от оперативного лечения.

Пропись профиля коморбидности (ПК) в отношении болезней органов пищеварения (класс XI, без 1-й группы) у летчиков морской авиации Северного флота выглядела следующим образом:

$$\text{ПК} = \text{XI класс} \{0,034 \cdot \text{II} + 0,511 \cdot \text{IV} + 0,171 \cdot \text{IX} + 0,023 \cdot \text{XI} + 0,580 \cdot \text{XIII} + 0,08 \cdot \text{XIV}\}; \text{МКБ-10},$$

где МКБ-10 – редакция Международной классификации болезней, по которой систематизированы данные; перед фигурными скобками указан рассматриваемый класс болезней; в фигурных скобках – классы сопутствующей патологии с вероятностью их диагностики по отношению к основному заболеванию в долях единицы.

Из прописи видно, что в качестве сопутствующей патологии чаще встречались болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ (класс IV) и болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (XIII класс). Вероятность (Р) коморбидности у летчиков, имеющих основное заболевание по классу XI, составила $P(\text{класс XI}) = 3,15 \cdot 10^{-6}$.

Вероятность сочетания наиболее часто встречающейся сопутствующей патологии составила $P(\text{класс XI; IV} + \text{XIII}) = 0,296$.

Заболевания ЖКТ в качестве сопутствующих встречались в 24,8 % случаев, в том числе ЯБ12ПК в стадии стойкой ремиссии – в 14 % и хронический гастродуоденит – в 86 %.

В работе [8] по материалам республиканского госпиталя МВД Республики Азербайджан приведены

данные анализа причин дисквалификации летного состава. Ведущими в структуре нозологических причин их дисквалификации являлись болезни системы кровообращения (19,2 %), травмы (19,2 %), психические расстройства (16,4%), болезни органов пищеварения (16,4%). При этом на 100 основных диагнозов приходилось 281,8 сопутствующих (хронические гастродуодениты – 34,6 %, хроническая почечная недостаточность – 33,7 %, артериальная гипертензия – 30,9 %, хронический бронхит – 99,8 %, ишемическая болезнь сердца – 25 %). Рассчитанное на основе этих данных число коморбидности [2] оказалось равным 2,82.

По данным нашего исследования, болезни системы кровообращения (класс IX), ставшие причиной дисквалификации летчиков, составили 53 случая (26,2 % выборки).

Гипертоническая болезнь (II ст.) (класс IX, I10–I11) стала причиной дисквалификации летчиков в 19 случаях (9,4 % всей выборки, 35,9 % доли класса IX). В качестве сопутствующей патологии в 15 случаях были остеохондроз (в том числе у 6 человек шейного отдела), в 12 случаях – атеросклероз аорты и атеросклеротический кардиосклероз без сердечной недостаточности, в 10 – АКО (I ст. у 7 человек и II ст. у 3 человек), в 9 случаях – атеросклероз сонных артерий (у 4 человек – клинически значимый, на уровне дисциркуляторной энцефалопатии I ст.), в 6 – хронический гастродуоденит, в 2 – хронический геморрой, по 1 случаю зафиксированы гипергликемия натощак, подагра и доброкачественная гипербилирубинемия.

Ишемическая болезнь сердца (бессимптомная ишемия миокарда, класс IX, I25.6) диагностирована у 12 человек (5,94 % от всей выборки свидетельств и 22,64 % класса IX). В качестве сопутствующих были диагностированы: у 9 человек – АКО I и II ст., у 12 человек – атеросклероз аорты и атеросклеротический кардиосклероз (у 10 человек без сердечной недостаточности, у 2 человек с сердечной недостаточностью, функциональный класс (ФК) больше II). В 3 случаях были выявлены стойкие нарушения сердечного ритма, в 9 случаях – остеохондроз позвоночника (в том числе у 2 человек значимый, предполагающий негодность к летной работе), у 6 человек – клинически незначимое атеросклеротическое поражение сонных артерий, у 5 – гипертоническая болезнь, у 4 – гипергликемия натощак, у 4 человек – хронический гастродуоденит, по 3 случая – узловой эутиреоидный зоб и хронический геморрой, в 2 случаях – ЯБ12ПК, столько же – хронический компенсированный тонзиллит, у 1 человека – хронический простатит.

У 6 летчиков, признанных негодными к летной работе, выявлены пороки сердца (класс IX, I34–I35). Сопутствующие заболевания в этой группе были представлены в 6 случаях атеросклерозом аорты и атеросклеротическим кардиосклерозом (у 4 человек

без сердечной недостаточности, у 2 с сердечной недостаточностью), у 6 человек – остеохондроз позвоночника, у 4 – хронический гастродуоденит, у 3 – хронический тонзиллит, по 2 случая – доброкачественные образования (гемангиомы, пигментные невусы) и АКО I ст., у 1 человека – ЯБ12ПК (ремиссия), по 1 случаю – узловой эутиреоидного зоба, хронического простатита и хронического геморроя.

Атеросклеротические изменения аорты и миокарда, миокардиосклероз со стойкими нарушениями сердечного ритма (класс IX, I70.0) послужили причиной дисквалификации 7 летчиков. Сопутствующая патология была представлена у 5 человек остеохондрозом позвоночника, у 2 – АКО I ст., у 2 – хроническим геморроем. По 1 случаю приходилось на хронический гастродуоденит, узловой эутиреоидный зоб и гипергликемия натощак.

Последствия перенесенного острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК, класс IX, I63, I64) стали причиной дисквалификации 3 летчиков, имевших в качестве сопутствующих заболеваний остеохондроз позвоночника, хронический гастродуоденит, гипертоническую болезнь I ст., АКО I ст., хронический компенсированный тонзиллит, доброкачественные образования (липомы), узловой эутиреоидный зоб и хронический геморрой.

Варикозное расширение вен нижних конечностей послужило причиной дисквалификации 6 человек (класс IX, I83) (5 человек на момент освидетельствования отказались от оперативного лечения, у 1 – рецидив после оперативного лечения). Выявленные сопутствующие заболевания: остеохондроз позвоночника, АКО I ст., хронический гастродуоденит, узловой эутиреоидный зоб, гипертоническая болезнь I ст., хронический простатит.

Таким образом, для класса IX МКБ-10 пропись коморбидности приобретает вид:

$$\text{ПК} = \text{IX класс} \{0,043 \cdot \text{II} + 0,75 \cdot \text{IV} + 1,23 \cdot \text{IX} + 0,085 \cdot \text{X} + 0,38 \cdot \text{XI} + 0,83 \cdot \text{XIII} + 0,02 \cdot \text{XIV}\}; \text{МКБ-10.}$$

Болезни системы кровообращения сопровождали сопутствующие заболевания, относящиеся к этой же системе внутренних органов (коэффициент 1,23 перед классом IX в ПК), а также болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ (класс IV) и болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (класс XIII). Вероятность коморбидности у летчиков, имеющих основное заболевание по классу IX, составила $P(\text{класс IX}) = 2,13 \cdot 10^{-5}$, вероятность сочетания наиболее часто встречающейся сопутствующей патологии $P(\text{класс IX; IV+ IX + XIII}) = 0,766$.

Заболевания системы кровообращения в качестве сопутствующих встречались в 44,6 % случаев (структура форм: атеросклероз и

атеросклеротический кардиосклероз без признаков сердечной недостаточности – 60 %, гипертоническая болезнь (ГБ) – 13,3 %, хронический геморрой – 26,7 %).

При мочекаменной болезни (МКБ) как основном экспертно значимом заболевании (14 человек, класс XIV, МКБ) только у 5 летчиков была монопатология, остальные в качестве сопутствующей патологии имели остеохондроз позвоночника (6 человек), хронический гастродуоденит (3 человека), хронический геморрой (3 человека), хронический простатит (2 человека), АКО I ст. (2 человека), ЯБ12ПК в фазе ремиссии (1 человек).

Из всех групп заболеваний по классу IV МКБ-10 внимания заслуживает АКО II ст. (Е66.0). По основному заболеванию были признаны непригодными к продолжению летной работы 9 человек (4,5 % в структуре свидетельств о болезни). Летчики также имели сопутствующую патологию: 7 случаев остеохондроза позвоночника, 6 случаев хронического гастродуоденита, в 5 случаях атеросклеротические изменения аорты и миокарда, в 4 – гипергликемия натощак, трижды диагностировались доброкачественные образования (липомы, гемангиомы) и хронический геморрой, дважды – ЯБ12ПК (в фазе ремиссии), атеросклероз сонных артерий и ГБ, по 1 случаю пришлось на узловую эутиреоидный зоб, доброкачественную гипербилирубинемию и подагру.

В то же время АКО как сопутствующее заболевание наблюдалось в 35,2 %. Примерно в 10 % избыточное питание соответствовало уровню АКО II ст.

Пропись коморбидности по классу IV выглядела следующим образом:

ПК = IV класс {0,214 • II + 0,571 • IV + 0,929 • IX + 0,643 • XI + 0,786 • XIII + 0,143 • XIV}; МКБ-10.

Вероятность коморбидности у летчиков, имеющих основное заболевание по классу IV: P (класс IV) = 8,2 • 10⁻³, вероятность сочетания наиболее часто встречающейся сопутствующей патологии: P (класс IV; IV + IX + X I+ XIII) = 0,268, P (класс IV; IX + XI + XIII) = 0,47 и P (класс IV; IX + XI) = 0,597.

Вероятность коморбидности по IV классу оказалась достаточно большой – 8,2 ‰, что требует формирования стандартов обследования летного состава, нацеленных не только на диагностику заболевания, но и на диагностику предрасположенности или начальных стадий патологического процесса.

Невротические, связанные со стрессом, и соматоформные расстройства (затяжные невротические реакции и состояния, ситуационно обусловленные, группа 5, класс V, F40 – F48, послужившие причиной дисквалификации по медицинским показаниям) диагностированы у 5 человек (2,5 % экспертных свидетельств о болезни).

В качестве сопутствующих заболеваний у них были выявлены остеохондроз позвоночника (3 случая), АКО

I ст. и хронический гастродуоденит (по 2 случая), а также ЯБ12ПК, хронический геморрой, хронический простатит, гипертоническая болезнь I ст., узловый эутиреоидный зоб, доброкачественные образования (пигментные невусы) и доброкачественная гипербилирубинемию.

Для основных нозологических форм, ставших препятствием для продолжения летной работы, значения коморбидности характеризовались следующими числами: ИБС – 5; порок сердца – 4,5; АКО – 4,1; ОНМК – 4; ГБ – 3; F48 – 2,8; остеохондроз – 2,25; сахарный диабет II типа – 2; бронхиальная астма – 2; псориаз – 2; злокачественные новообразования – 1,86; варикозное расширение вен – 1,83; желчно-каменная болезнь – 1,8; кохлеарный неврит – 1,75, атеросклероз аорты, атеросклеротический кардиосклероз – 1,71; аутоиммунный тиреоидит – 1,67; ЯБЖ и ЯБ12ПК – 1,36; МКБ – 1,21. На весь массив проанализированных свидетельств о болезни общее ЧК составило 2,15.

При принятии экспертного решения в отдельных случаях в качестве основного указывалось клиническое, а не прогностически значимое для обследуемых заболевание.

В медицинской практике отсутствует общепринятый подход к определению последовательности формулирования (ранжирования патологических явлений) в экспертном заключении 2 и более заболеваний равной экспертной значимости. Специалисты-эксперты на 1-е место ставят заболевание, которое считают доминирующим, исходя из своего опыта и личных предпочтений. Нередко это приводит к тому, что после суммирования и статистической обработки с большей или меньшей долей вероятности получается не вполне точная картина заболеваемости, дисквалификации и других показателей морбидности, включаемых в статистику медицинского учреждения и рассматриваемых в качестве базовых для оценки работы врача-эксперта. Описание коморбидности может создать предпосылки к решению этих вопросов.

Выводы

На Северном флоте в структуре дисквалификации летного состава по медицинским причинам заболевания психосоматического природы достигают 60 % и в их патогенезе преобладает стрессовый фактор.

Предложенная пропись коморбидности может использоваться для программирования в технологии антирисковой реабилитации и восстановительной медицины для здоровых летчиков и летчиков, имеющих донозологические и субклинические формы проявления патологии.

При описании коморбидности необходимо учитывать результаты анализа содержания экспертных

заклучений, возрастные и профессиональные особенности обследуемых лиц и региональную заболеваемость, что предполагает совместную работу авиационных врачей и специалистов военно-врачебной комиссии и экспертного отделения госпиталя.

При подготовке экспертного заключения врачебно-лётной комиссии целесообразно выделять таксономическую часть с отнесением к традиционной группе здоровья и адаптационную часть – с определением подгруппы риска по нарушению физиологического адаптационного процесса.

Список литературы

1. Бубеев Ю.А., Кальманов А.С., Котровская Т.И. Коррекция функционального состояния лётчиков палубной авиации с помощью курса ингаляций терапевтических доз ксенона в условиях длительного морского похода // *Авиакосм. и экол. мед.* 2011. Т. 45. № 4. С. 10–15.

Bubeev Yu.A., Kal'manov A.S., Kotrovskaya T.I. Correction of the functional state of deck aviation pilots by the course of inhalation of therapeutic doses of xenon during long march // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2011. V. 45. № 4. P. 10–15.

2. Мызников И.Л., Аскерко Н.В., Устименко Л.И., Милошевский А.В. Исследование коморбидности у моряков // X Всерос. науч.-практ. конф. «Боевой стресс. Медико-психологическая реабилитация лиц опасных профессий» (29–30 ноября 2012 г.) / В.В. Добржанский, ред. М., 2012. С. 278–279.

Myznikov I.L., Askerko N.V., Ustimenko L.I., Miloshevsky A.V. The study of comorbidity among sailors // X All-Russian science practical conference «Combat stress. Medical and psychological rehabilitation of hazardous occupations» (29–30 Nov., 2012) / V.V. Dobrzhansky, ed. M., 2012. P. 278–279.

3. Мызников И.Л., Милошевский А.В., Аскерко Н.В. и др. Состояние здоровья, заболеваемость и травматизм плавсостава Северного флота // *Авиакосм. и экол. мед.* 2013. Т. 47. № 2. С. 13–20.

Myznikov I.L., Miloshevskiy N.V., Askerko L.I. et al. Health, morbidity and injury rate among the North fleet seafaring personnel // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2013. V. 47. № 2. P. 13–20.

4. Боченков А.А., Загородников Г.Г. Взаимосвязь первичной заболеваемости и адаптации военнослужащих в условиях Крайнего Севера // *Мор. мед. журн.* 2009. № 1. С. 10–19.

Bochenkov A.A., Zagorodnikov G.G. The relationship of primary disease and adaptation of the military in the Far North // *Morskoy meditsinskiy zhurnal*. 2009. № 1. P. 10–19.

5. Родионов О.Н. Влияние увеличения полетного времени на здоровье летного состава авиации // *Мед. труда и пром. экол.* 2008. № 4. С. 43–47.

Rodionov O.N. Influence of increased flight time on civil pilots health // *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2008. № 4. P. 43–47.

6. Баевский Р.М., Берсенев Е.Ю., Орлов О.И. и др. Проблема оценки адаптационных возможностей человека

в авиакосмической физиологии // *Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова*. 2012. Т. 98. № 1. С. 95–107.

Baevskii R.M., Bersenev E.Yu., Orlov O.I. et al. The problem with assessing adaptive capacity of human physiology in the aerospace // *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2012. V. 98. № 1. P. 95–107.

7. Василенко В.В., Таяновский Ю.В., Донин К.М. К вопросу о реабилитации летного состава с заболеваниями органов пищеварения // *Психофизиологические и клинические аспекты медицинской реабилитации летного состава*. СПб., 1998. С. 25–26.

Vasilenko V.V., Tayanovskiy Yu.V., Donin K.M. On the question of rehabilitation crews with digestive diseases // *Psycho-physiological and clinical aspects of medical rehabilitation of crews*. St. Petersburg, 1998. P. 25–26.

8. Асадов А.Г., Агаева К.Ф. О факторах риска профессиональной дисквалификации по состоянию здоровья // *Проблемы управления здравоохранением*. 2010. Т. 54. № 5. С. 62–64.

Asadov A.G., Agaeva K.F. About the risk factors of professional suspension for health reasons // *Problemy upravleniya zdravookhraneniem*. 2010. V. 54. № 5. P. 62–64.

9. Вартбаронов Р.А., Багаудинов К.Г., Хоменко М.Н., Чурилов Ю.К. Теоретические основы авиационной клинической медицины // *Воен.-мед. журн.* 2009. № 2. С. 45–49.

Vartbaronov R.A., Bagaudinov K.G., Homenko M.N., Churilov Yu.K. Theoretical foundations of aviation-clinical medicine // *Voenno-meditsinskiy zhurnal*. 2009. V. 330. № 2. P. 45–49.

Поступила 14.10.2013

COMORBIDITY PROFILE OF THE RUSSIAN NORTHERN FLEET FLYING PERSONNEL DISQUALIFIED FOR HEALTH REASONS

Miloshevskiy A.V., Myznikov I.L.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 47. № 1. P. 54–58

Analysis of 202 medical histories of the Northern fleet naval pilots suggested the necessity to introduce the criteria of comorbidity number and formulation. It has been found that psychosomatic diseases (up to 60 % of the cases) with the pathogenesis engendered by stress factor remain the leading cause for medical disqualification of Northern fleet naval pilots.

The authors recommend changing over the nosologic diagnostics to physiological to optimize the aeromedical certification process.

Probabilistic modeling of chronic pathology pathogenesis may be viewed as a foundation stone for programming as part of the pilots' anti-risk rehabilitation technology.

Key words: navy medicine, physiological adaptation, pilots, comorbidity, European North, analysis technique.

УДК 537.5912.523.037:575.7

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ДОЗОВЫХ ПОЛЕЙ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В СЛУЖЕБНОМ МОДУЛЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ЗА 2000–2012 гг.

Митрикас В.Г.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва
e-mail: vg-mit@imbp.ru

Наблюдающийся в настоящее время 24-й цикл солнечной активности (СА) выделяется среди других низким уровнем интенсивности. Напротив, уровень потоков протонов галактических космических лучей (ГКЛ) отличается большей выраженностью, что приводит к возрастанию потоков протонов в радиационных поясах Земли (РПЗ). Поэтому для расчетов поглощенной дозы от протонов РПЗ в настоящее время необходимо существенно увеличить интенсивность протонов, заложенную в модельные описания, основанные на экспериментальных данных минимума между 19-м и 20-м циклами СА и максимума 21-го цикла СА.

Поглощенная доза от ГКЛ и протонов РПЗ соответствует динамике протонов ГКЛ, доза от электронов РПЗ – динамике СА. Наиболее существенными факторами, от которых зависит величина поглощенной дозы, являются фаза цикла СА, высота орбиты Международной космической станции (МКС) и функция экранированности того прибора, по результатам которого проводится анализ.

В работе представлены результаты анализа динамики поглощенной дозы, измеренной различными дозиметрами (Р-16 – 2 ионизационные камеры, ДБ8-1, ДБ8-2, ДБ8-3, ДБ8-4) в зависимости от высоты орбиты МКС и фазы цикла СА. Подтверждено наличие годовой вариации в динамике поглощенной дозы и выявлено несколько дополнительных вариаций с периодами 17 и 52 мес. Показано, что вариации поглощенной дозы модулируются по амплитуде СА и ГКЛ.

Ключевые слова: ионизирующие излучения, поглощенная доза, Международная космическая станция, функции экранированности.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 1. С. 59–64.

Оперативный контроль радиационного воздействия на космонавтов в служебном модуле Международной космической станции (СМ МКС) осуществлялся с помощью набора активных и пассивных дозиметров. Результаты контроля радиационной обстановки в отсеках МКС пассивными дозиметрами представлены в работе [1], поэтому здесь они не рассматриваются.

Изначально в СМ МКС над панелью потолка № 327 был установлен радиометр Р-16, имевший 2 независимых канала регистрации, отличавшихся

тем, что в одном канале (D1) ионизационная камера имела дополнительный защитный экран толщиной 3 г/см² [2], позволявший оценивать поглощенную дозу на глубине залегания красного костного мозга. Второй канал (D2) позволял оценивать поглощенную дозу на кожу. Чувствительность ионизационных камер составляла 50 мкГр/имп. Телеметрическая информация с показаниями радиометра Р-16 начала поступать в Службу радиационной безопасности с 1 августа 2000 г. В мае 2006 г. радиометр, значительно превысивший к тому времени гарантийный ресурс работы, вышел из строя и был исключен из состава средств дозиметрического контроля.

Начиная со 2 августа 2001 г. на Землю стала поступать информация о динамике дозовых полей в СМ МКС, измеряемой 4 полупроводниковыми дозиметрами ДБ8 [3, 4], установленными в различных точках: ДБ8-1 – в рабочем отсеке малого диаметра, за панелью № 410, ДБ8-2 – за поперечной стенкой каюты левого борта (КЛБ), за панелью № 244; ДБ8-3 – за поперечной стенкой каюты правого борта (КПБ), за панелью № 447; ДБ8-4 – в рабочем отсеке большого диаметра (РОБД), за панелью № 435.

Рассмотрим, как менялось отношение показаний дозиметра ДБ8-1 к показаниям других дозиметров: $f_{1,2}(t) = D(\text{ДБ8-1}) / D(\text{ДБ8-2})$, $f_{1,3}(t) = D(\text{ДБ8-1}) / D(\text{ДБ8-3})$ и $f_{1,4}(t) = D(\text{ДБ8-1}) / D(\text{ДБ8-4})$.

Во-первых, эти функции не являются константами, что свидетельствует об изменениях спектров падающих на детекторы космических излучений. Во-вторых, даже в среднемесячных значениях положения экстремумов функций $f_{1,i}(t)$ не всегда совпадают, что может свидетельствовать об изменениях функций экранированности. При размещении дополнительного оборудования в рабочем объеме малого диаметра (РОМД) вблизи дозиметра ДБ8-1 его показания могут уменьшаться и соответственно может уменьшаться величина отношений $f_{1,i}(t)$. Размещение дополнительного оборудования вблизи какого-либо другого дозиметра может привести к уменьшению показаний соответствующего

дозиметра, и соответственно может увеличиться величина отношений $f_{1,i}(t)$. Проследить, как меняются функции экранированности дозиметров из-за размещения около них дополнительного оборудования или появления одновременно нескольких космонавтов, пока не представляется возможным. Среднее за период август 2001 г. – июнь 2013 г. значение $\pm$ стандартное отклонение для $f_{1,2}(t)$ $M \pm \sigma = 1,278 \pm 0,094$; для $f_{1,3}(t)$ $M \pm \sigma = 1,216 \pm 0,052$ и для $f_{1,4}(t)$ $M \pm \sigma = 1,724 \pm 0,124$. Это означает, что минимум на 5,2 % результаты расчетов поглощенных доз в дозиметрах ДБ8 могут не совпадать с результатами измерений.

При расчетно-теоретическом сопровождении радиационного мониторинга на МКС остаются не до конца решенными 2 проблемы.

Первая проблема заключается в получении функций экранированности контролируемых по поглощенной дозе точек внутри МКС. В работе [4] представлена геометрическая модель СМ МКС и изложена методика расчета функций экранированности. Данная модель предназначена для оценки радиационного воздействия на космонавтов, находящихся внутри обитаемых отсеков, т.е. на некотором удалении как от элементов конструкции модуля, так и от размещенного в нем оборудования.

В работе [5] была предпринята попытка использовать данную модель для расчета радиационной нагрузки на дозиметры ДБ8, которые размещены среди другого оборудования МКС. В этой работе было показано, что для корректного расчета поглощенной дозы в детекторе ДБ8 необходимо более детальное моделирование условий защищенности каждого рассматриваемого дозиметра. В частности, при расчетах поглощенных доз в дозиметре ДБ8-1 в рассмотрение была введена дополнительная алюминиевая плита толщиной 1 см, расположенная под дозиметром.

Исходной информацией для построения модели СМ МКС, пригодной для расчета функций экранированности, послужили схемы, представленные РКК «Энергия» в конце 1990-х годов. Позднее удалось выяснить, что реальная компоновка существенно отличается от этой схемы. В этом районе РОМД размещены барабаны, в которых сложены солнечные батареи и размещены электродвигатели, обеспечивающие их раскрытие, а внутри отсека, около боковой стенки, установлен блок телевизионной аппаратуры (БТА). По 1-й схеме средняя толщина защиты детектора ДБ8-1 $\pm$ стандартное отклонение $M \pm \sigma = 31,96 \pm 40,01$ г/см², по 2-й схеме $M \pm \sigma = 26,45 \pm 34,62$ г/см², т.е. получены достаточно серьезные различия в характеристиках функций экранированности.

Второй проблемой является модельное описание источников радиационной опасности. В данной работе не будут рассматриваться солнечные протонные события (СПС) и не решенная до настоящего времени проблема прогнозирования времени

возникновения СПС и их интенсивностей. Остаются спектры галактических космических лучей (ГКЛ), протонов и электронов радиационных поясов Земли (РПЗ) и, в частности, временная динамика спектров.

Модель спектров ГКЛ не является критичной, поскольку при расчетах суточного вклада в поглощенную дозу от излучений ГКЛ модельные спектры нормируются на экспериментальные значения потоков протонов с энергиями выше 100 МэВ по результатам измерений на американском спутнике GOES [6]. Модели спектров протонов РПЗ [7, 8] основаны на экспериментальных данных, полученных для минимума солнечной активности (СА) 1965 г. и максимума СА 1980 г. [9].

Из анализа имеющихся данных следует, что протекающий в настоящее время цикл СА самый низкий по интенсивности. Изменения СА приводят к возрастанию интенсивности протонов ГКЛ в 1,9–2,2 раза, по сравнению с 2–3 предыдущими циклами, на основе которых формировалась база данных для построения моделей спектров протонов РПЗ. Соответствующим образом меняется среднесуточная мощность поглощенной дозы внутри МКС: доза от ГКЛ и протонов РПЗ следует за динамикой протонов ГКЛ, доза от электронов РПЗ следует за динамикой СА. Поскольку протоны РПЗ в основном формируются из распада нейтронов альbedo, которые в свою очередь порождаются частицами ГКЛ, то при высоких интенсивностях излучений ГКЛ следует ожидать высоких значений интенсивностей протонов РПЗ.

Важной характеристикой, определяющей в существенной мере поглощенную дозу, является высота орбиты МКС. Достаточно широко распространено мнение, что с увеличением высоты над поверхностью Земли интенсивность протонов РПЗ растет. Оно основано на обобщении экспериментальных данных, представленных в работе [9]. Из анализа данных следует, что независимо от фазы цикла СА до высот ~ 2500 км интенсивность протонов РПЗ непрерывно растет. При этом отсутствует информация о том, как осуществляется переход во времени от фазы минимума к фазе максимума СА. Для выяснения этих условий рассмотрим зависимость среднесуточной мощности поглощенной дозы от средней высоты орбиты МКС за период август 2001 г. – декабрь 2012 г., без учета вклада в дозу от протонов СПС. Для этого между показаниями дозиметра за сутки до возникновения СПС и показаниями спустя сутки после окончания СПС проводилась линейная интерполяция. Из анализа имеющихся данных следует, что, с одной стороны, общая тенденция выражается уравнением линейной регрессии как:

$$D = 16,185 + 0,796 \cdot H_{\text{сп}},$$

где поглощенная доза D выражена в мкГр, а $H_{\text{сп}}$ – в км.

С другой стороны, имеется достаточно широкий разброс значений поглощенной дозы вокруг линии линейного тренда.

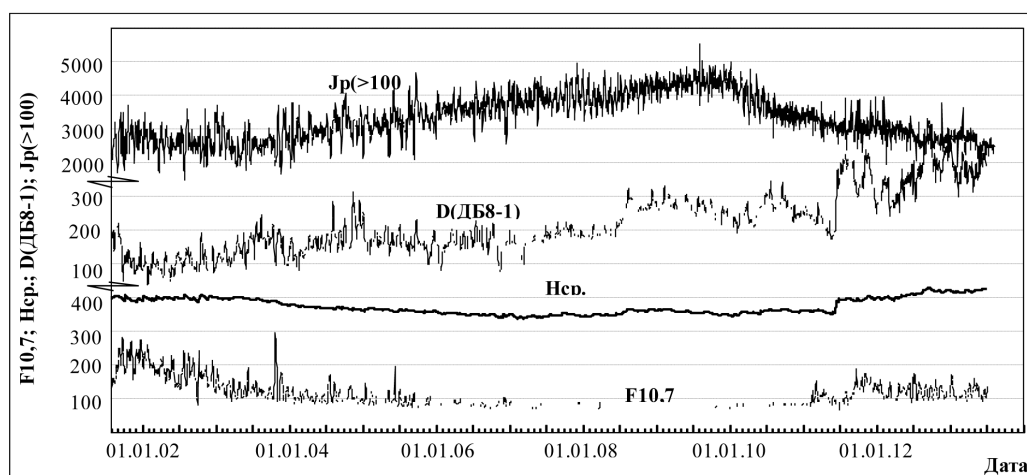


Рис. 1. Динамика потока радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см (F10,7) в единицах 10^{-22} Вт/м²/Гц; средней высоты орбиты МКС (Hср.) в км; среднесуточной мощности поглощенной дозы (D(DB8-1) в мГр/сут; интенсивности протонов ГКЛ с энергиями выше 100 МэВ ($J_p > 100$) в единицах прот./см²с

Для более детального анализа зависимости мощности поглощенной дозы от высоты и от времени рассмотрим рис. 1. Из анализа графиков, представленных на рис. 1, следует, что СА от фазы максимума 23-го цикла в начале XXI в. проходит через фазу минимума в 2007–2009 гг. и приходит в фазу максимума текущего 24-го цикла СА. При этом средняя высота орбиты МКС снижалась с ~ 400 км в 2002 г. до 350 км в середине 2007 г., потом слабо менялась до середины 2011 г., затем резко выросла на 15 км, и слабый рост продолжается до настоящего времени. Интенсивность протонов ГКЛ достигла максимума в середине 2009 г. (фаза минимума СА), после чего слабо уменьшалась, но не достигла обычного уровня, характерного для фазы максимума СА.

Анализируя динамику среднесуточной мощности поглощенной дозы можно отметить, что она имеет положительный тренд при отрицательном тренде высоты орбиты МКС, что, казалось бы, противоречит предыдущим выводам. Причина такого роста может быть связана с тем, что увеличение потоков ГКЛ оказывает на поглощенную дозу большее влияние, чем уменьшение высоты орбиты. После середины 2011 г. мощность поглощенной дозы растет с высотой при продолжающемся уменьшении потоков ГКЛ, что может быть связано с более быстрым ростом интенсивности протонов РПЗ с увеличением высоты орбиты.

Оценки изменений мощности поглощенной дозы от высоты орбиты МКС показали большой разброс коэффициента корреляции между данными показателями в различные временные периоды, от +0,95 до -0,84. Но с середины 2011 г., когда высота орбиты превысила 390 км, коэффициент корреляции преимущественно оставался положительным. Аналогичный результат получен при рассмотрении коэффициента корреляции между мощностью

поглощенной дозы и средней высотой пересечения Южно-Атлантической аномалии.

При прогнозе мощности поглощенной дозы на несколько суток необходимо учитывать, на какой фазе колебаний находится начало прогноза. Для решения такой задачи была вычислена плотность спектра мощности (ПСМ) поглощенной дозы.

Методом линейной регрессии определили зависимость мощности поглощенной дозы от средней высоты орбиты в интервале 13 мес. Для каждого среднего месяца вычислили разность между экспериментальными данными и значениями, вычисленными по уравнениям линейной регрессии. По итоговой зависимости разности поглощенных доз вычислили ПСМ, которая показывает пик, превышающий уровень 90 % значимости в районе частоты, соответствующей периоду колебаний $T = 12$ мес.

Аналогичные результаты получены для всех других приборов DB8. Различия при рассмотрении зависимости мощности поглощенной дозы не от средней высоты орбиты, а от высоты орбиты в зоне Южно-Атлантической аномалии не существенны.

Следует отметить, что в работе [10] по анализу динамики поглощенной дозы на орбитальном комплексе (ОК) «Мир» также были выявлены вариации с различными периодами: 12,0; 17,0 и 23,3 мес. С целью выяснения стабильности вариаций рассмотрим общую динамику поглощенной дозы на ОК «Мир» и МКС. На рис. 2 представлены среднемесячные значения поглощенной дозы на 2 орбитальных станциях.

Независимо от вида применяемых дозиметров (на ОК «Мир» использовали радиометр Р-16, а на МКС – полупроводниковый дозиметр ДБ8) переход к среднемесячным значениям позволил рассматривать общую динамику вариаций поглощенной дозы.

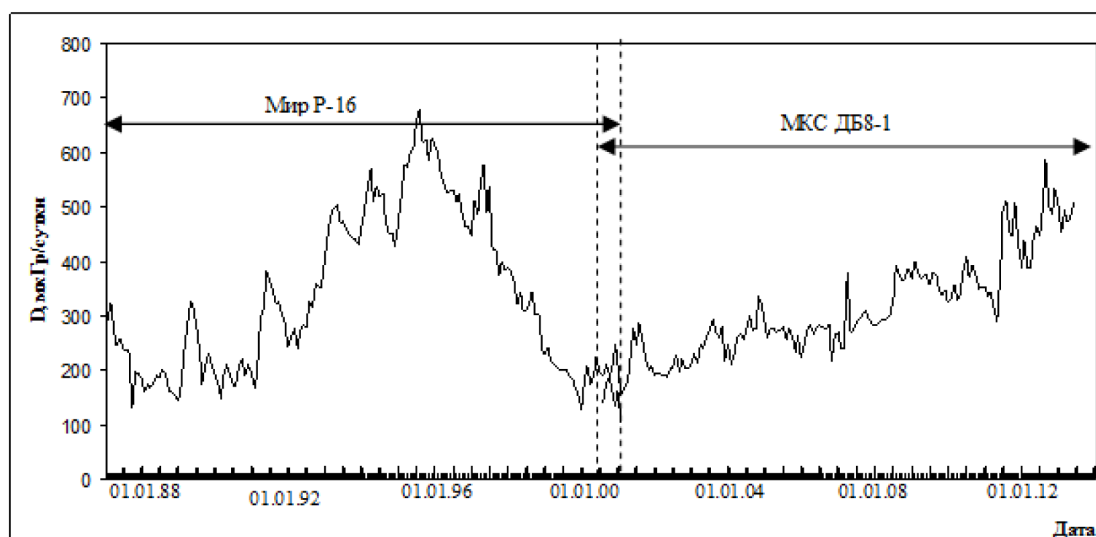


Рис. 2. Динамика поглощенной дозы на орбитальных станциях

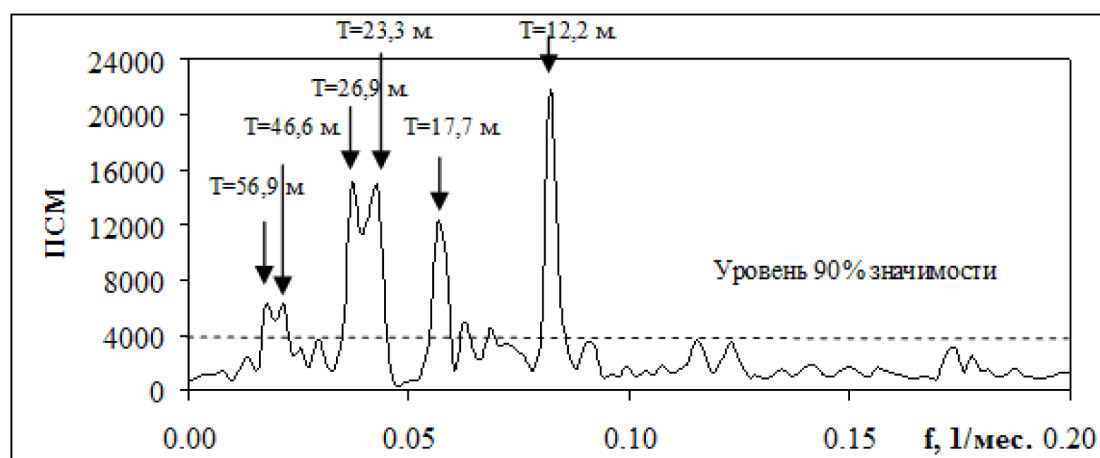


Рис. 3. Плотность спектра мощности поглощенной дозы за период с февраля 1987 г. по июнь 2013 г.

Для этого использован подход к обработке цифровых данных, изложенный в работе [11]. Для каждого ряда среднемесячных данных мощности поглощенной дозы был определен тренд, и ПСМ вычислялась для разности между значениями исходного ряда и трендом. В итоге было получено несколько пиков (рис. 3), превышающих уровень значимости в 90 % и соответствующих периодам вариаций 12,3; 17,7; 23,3; 26,9; 46,6 и 56,9 мес.

Для выяснения стабильности выявленных периодичностей был выполнен спектрально-временной анализ, заключающийся в том, что плотность спектров мощности вычислялась на базе данных длительностью в 6 лет со сдвигом начала отсчета на 1 мес. В результате анализа получена динамика периодов вариаций плотности спектров мощности как функция окончания интервала, для которого

проводились вычисления. Результаты анализа представлены на рис. 4.

Сплошными кривыми на рис. 4 обозначены периоды вариаций, у которых амплитуда соответствующего пика превышала уровень 90 %-ной значимости. Пунктирными кривыми обозначены периоды, у которых амплитуда пика в ПСМ превышала среднее значение, но была ниже уровня 90 %-ной значимости. Средние значения обнаруженных периодов равны: 51,6; 25,7; 19,8; 16,9; 12,1; 8,1 мес. При этом вариация с периодом 51,6 мес проявляется только до октября 1993 г. и после ноября 2000 г. Вариация с периодом 25,7 мес, обнаруженная в результатах на ОК «Мир», на МКС проявляется в виде вариации с периодом 19,8 мес, а с января 2006 г. – в виде вариации с периодом 24,5 мес.

Анализ результатов, представленных на рис. 4, показывает, что только 12-месячная вариация

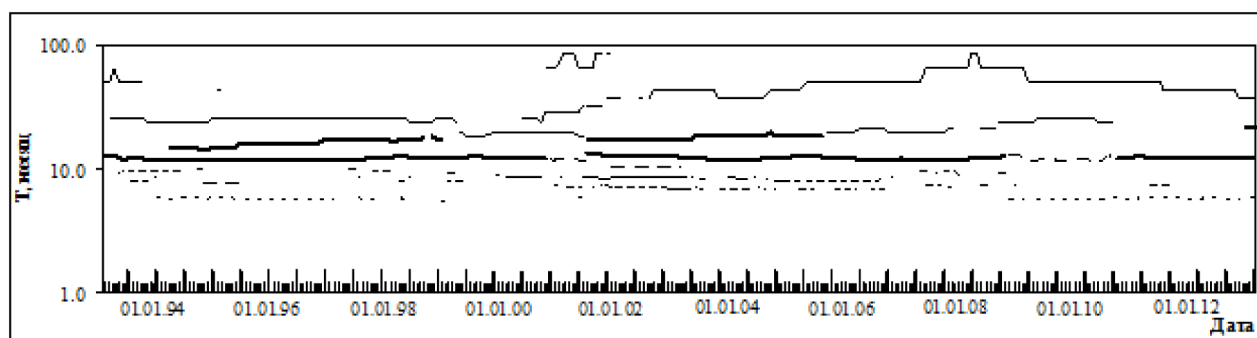


Рис. 4. Динамика положения периодов вариаций мощности поглощенной дозы за период измерений с февраля 1987 г. по июнь 2013 г.

является практически устойчивой, с небольшими интервалами времени (январь – август 2001 г. и март 2009 г. – январь 2011 г.), когда амплитуда соответствующего пика в ПСМ была ниже уровня 90 %-ной значимости. Остальные вариации не являются стабильными как во времени, так и по величине. В работе [12] при представлении анализа модуляций индексов СА указывается на то, что из-за неравенства синодического периода вращения Солнца (27,275 сут) и средней продолжительности месяца (30,437 сут) среднемесячные значения индексов оказываются модулированными с периодами порядка 8, 9, 17, 26 и 95 мес. Из-за наличия сезонного влияния на однородность наблюдений возможно порождение модуляции солнечных данных и как артефакта годовой периодичности.

Некоторые из обнаруженных при проведении спектрально-временного анализа периодичностей совпадают с отмеченными модуляциями. Вариации поглощенной дозы выявлены по результатам измерений непосредственно на космическом объекте. Это исключает сезонное влияние на условия наблюдения, и годовую периодичность нельзя рассматривать как артефакт. Наличие годовой вариации объясняется достаточно просто. В зимние месяцы в Южном полушарии лето, атмосфера нагревается сильнее, что приводит к увеличению ее плотности и, соответственно, более сильному ионизационному торможению протонов РПЗ.

В качестве подтверждения, что найденные вариации не являются специфичными для мощности поглощенной дозы, рассмотрим ПСМ результатов измерений потоков протонов внутреннего РПЗ ($L < 2,5$) с энергиями $E = 70\text{--}235$ МэВ, полученных на спутниках серии NOAA [6].

Различие с ПСМ поглощенной дозы состоит в том, что вместо $T = 46,6$ мес и $T = 56,9$ мес в данном случае выделяется период $T = 36$ мес. Это различие обусловлено тем обстоятельством, что потоки протонов ГЛ обнаруживают вариацию с периодом $T = 47,1$ мес.

Выделяя из исходного ряда мощности поглощенной дозы с помощью цифровых фильтров [13] основные вариации, получаем достаточно гладкие кривые, у которых амплитуда меняется во времени. У вариаций с периодами 12 и 17 мес амплитудная модуляция близка по форме к характеристикам цикла СА, а у вариации с периодом 52 мес модуляция близка по форме к динамике ГЛ.

Прогнозирование динамики поглощенной дозы является важным фактором обеспечения радиационной безопасности космонавтов во время полета. Не менее важной задачей является определение дозовой нагрузки при пребывании человека в отсеках космического аппарата, не имеющих средств дозиметрического контроля. В таких случаях расчетный путь дает единственную возможность для корректной оценки радиационного воздействия не только в целом на организм (среднетканевой дозы), но и дозовую нагрузку на отдельные системы и органы. Представленные в данной работе результаты повышают надежность таких оценок.

Выводы

1. Полученные результаты подтверждают вывод авторов работы [5], что для корректного расчета поглощенной дозы в любом дозиметре в СМ МКС необходимо более детальное моделирование условий защищенности каждого рассматриваемого дозиметра.

2. Потоки протонов РПЗ помимо нестационарных изменений, определяемых цикличностью СА, подвержены квазистационарным вариациям с периодами 12 мес, 17,7 мес, около 2 лет и около 4,5 года. При этом относительно короткие вариации (до 2 лет) модулируются СА, а относительно более длинные – ГЛ. Наиболее стабильной является годовая вариация, обусловленная сезонными колебаниями температуры верхней атмосферы. В зимний период в Южном полушарии нагревание атмосферы приводит к увеличению ее плотности на орбите МКС и соответственно к увеличению ионизационного торможения протонов РПЗ

и уменьшению поглощенной дозы. Обнаруженные вариации не являются специфическими для поглощенной дозы на МКС, а также проявляются в потоках протонов, зарегистрированных на спутниках NOAA [6].

Список литературы

1. Бондаренко В.А., Митрикас В.Г., Цетлин В.В. Пространственное распределение локальных поглощенных доз в РС МКС // *Авиакосм. и экол. мед.* 2011. Т. 45. № 4. С. 22–27.
Bondarenko V.A., Mitrikas V.G., Tsetlin V.V. Spatial distribution of the local absorbed doses in RS ISS // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2011. V. 45. № 4. P. 22–27.
2. Юрятин Е.И., Шумшуров В.И., Фоминых В.А., Тельцов М.В. Исследования дозиметрических характеристик ионизационной камеры с электростатическим реле // *Измерительная техника.* 1979. № 3. С. 48.
Yuryatin E.I., Shumshurov V.I., Fominich V.A., Teltsov M.V. Researches of dosimetric characteristics of the ionization camera with the electrostatic relay // Izmeritelnaya tekhnika. 1979. № 3. P. 48.
3. Модель космоса: Науч.-информ. изд. Т. 1. Физические условия в космическом пространстве. В 2 т. / М.И. Панасюк, Л.С. Новиков, ред. М., 2007.
Space model: Scientific information publication. V. 1. Physical conditions in space / M.I. Panasyuk, L.S. Novikov, eds. Moscow, 2007.
4. Митрикас В.Г. Модель защищенности обитаемых отсеков служебного модуля Международной космической станции для оценки радиационной опасности // *Авиакосм. и экол. мед.* 2007. Т. 39. № 1. С. 34–39.
Mitrikas V.G. Model of security of manned compartments of the office module of the International Space Station for an assessment of radiation hazard // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2007. V. 39. № 1. P. 34–39.
5. Дробышев С.Г., Бенгин В.В. Оценка влияния ориентации Международной космической станции на мощность дозы в служебном модуле станции при прохождении области Южно-Атлантической аномалии // *Косм. исслед.* 2011. Т. 49. № 5. С. 411–418.
Drobishev S.G., Bengin V.V. Assessment of influence of orientation of the International Space Station on dose power in the office module of the station when passing area of the Southern Atlantic anomaly // Cosmicheskie issledovaniya. 2011. V. 49. № 5. P. 411–418.
6. <http://www.swpc.noaa.gov>.
7. ГОСТ 25645.138. Пояса Земли радиационные естественные. Пространственно-энергетические характеристики потоков протонов. М., 1987.
GOST 25645.138. Earth belts the radiation natural. Spatial and power characteristics of proton fluxes. Moscow, 1987.
8. Митрикас В.Г. Модель радиационных поясов Земли для оценки радиационной опасности на орбите ОПС «Мир» // *Косм. исслед.* 1999. Т. 37. № 5. С. 1–5.
Mitrikas V.G. Model of radiation belts of Earth for an assessment of radiation hazard in OPS «Mir» orbit // Cosmicheskie issledovaniya. 1999. V. 37. № 5. P. 1–5.
9. Модель космического пространства. Т. 3. / С.Н. Вернов, ред. М., 1983.
Space model. V. 3 / S.N. Vernov, ed. Moscow, 1983.
10. Mitrikas V.G., Tsetlin V.V., Teltsov M.V., Shumshurov V.I. Radiation dose measurement aboard the Mir using the R-16 instrument // *Radiat. Measurement.* 2002. V. 35. P. 515–525.
11. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. М., 1989.
Bendat J., Pirsol A. Applied analysis of random data. Moscow, 1989.
12. Витинский Ю.И., Копецкий М., Ку克林 Г.В. Статистика пятно-образовательной деятельности Солнца. М., 1986.
Vitinsky Yu.I., Kopetsky M., Kuklin G.V. Statistics of spot-formation activity of the sun. Moscow, 1986.
13. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры. М., 1980.
Hamming R.V. Digital filters. Moscow, 1980.

Поступила 16.09.2013

RESULTS OF STATISTICAL ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF IONIZING RADIATION DOSE FIELDS IN THE SERVICE MODULE OF THE INTERNATIONAL SPACE STATION IN 2000–2012

Mitrikas V.G.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 1. P. 59–64

The on-going 24th solar cycle (SC) is distinguished from the previous ones by low activity. On the contrary, levels of proton fluxes from galactic cosmic rays (GCR) are high, which increases the proton flow striking the Earth's radiation belts (ERB). Therefore, at present the absorbed dose from ERB protons should be calculated with consideration of the tangible increase of protons intensity built into the model descriptions based on experimental measurements during the minimum between cycles 19 and 20, and the cycle 21 maximum.

The absorbed dose from GCR and ERB protons copies galactic protons dynamics, while the ERB electrons dose copies SC dynamics. The major factors that determine the absorbed dose value are SC phase, ISS orbital altitude and shielding of the dosimeter readings of which are used in analysis.

The paper presents the results of dynamic analysis of absorbed doses measured by a variety of dosimeters, namely, R-16 (2 ionization chambers), DB8-1, DB8-2, DB8-3, DB8-4 as a function of ISS orbit altitude and SC phase. The existence of annual variation in the absorbed dose dynamics has been confirmed; several additional variations with the periods of 17 and 52 months have been detected. Modulation of absorbed dose variations by the SC and GCR amplitudes has been demonstrated.

Key words: ionizing radiation, absorbed dose, International space station, shielding functions.

МЕТОДИКИ

УДК 629.786+613.693:612.2:661.931+53.087:546.11

РОССИЙСКАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ КИСЛОРОДА «ЭЛЕКТРОН-ВМ»: СОДЕРЖАНИЕ ВОДОРОДА В ЭЛЕКТРОЛИЗНОМ КИСЛОРОДЕ ДЛЯ ДЫХАНИЯ ЭКИПАЖА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Прошкин В.Ю., Курмазенко Э.А.

ОАО «НИИхиммаш», Москва
e-mail: v_proshkin@mail.ru

В статье приведены данные о содержании водорода в электролизном кислороде, производимом для дыхания экипажа на борту Международной космической станции (МКС) российской системой генерации кислорода (СГК) «Электрон-ВМ». Данные получены при работе СГК на МКС и при наземных ресурсных испытаниях. Рассмотрены источники водорода в кислороде и показано, что основной источник – диффузия водорода через пористую диафрагму между катодной и анодной камерами электролизера. Дана оценка эффективности окисления водорода в блоке дожигания, который входит в состав СГК.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 1. С. 65–68.

Российская система генерации кислорода (СГК) «Электрон-ВМ» на основе электролиза воды со щелочным электролитом – источник кислорода для дыхания экипажа на борту МКС. Электролит (раствор гидроксида калия – КОН) циркулирует через катодные и анодные камеры электролизера, с последующим разделением газожидкостной смеси на статических пористых разделителях. Ячейки в электролизере по току соединены последовательно, а по циркуляции потоков электролита (вход) и газожидкостной смеси (выход) – параллельно (2 линии для кислородных и водородных камер). При токе питания электролизера 10–64 А производительность СГК по кислороду составляет 25–160 л/ч (в статье все объемы даны для нормальных условий). При электролизе воды также выделяется водород (50–320 л/ч), часть которого неизбежно попадает в электролизный кислород, что потенциально опасно.

Для очистки кислорода от примеси водорода в технологический блок – блок жидкостный (БЖ) СГК, входит блок дожигания (БД), содержащий катализатор на основе окиси алюминия с добавкой палладия. В БД идет каталитическое окисление примеси водорода

в электролизном кислороде. В соответствии с техническими требованиями на СГК «Электрон-ВМ» объемная доля водорода в производимом кислороде должна составлять: после БД (при подаче экипажу) – не более 0,5 %, до БД – не более 1,3 %, при аварийном отключении по сигналу с газоанализаторов (установлены до БД) – 2 %.

На борту МКС содержание водорода в кислороде СГК измеряется дублированными газоанализаторами, установленными до БД. Обработанные результаты 12 614 замеров, проведенных на борту для 5 БЖ (№ 004, 006–009), представлены на рис. 1. Поток водорода в кислороде до БД не зависит от тока питания электролизера и наработки ресурса, не меняется для разных БЖ и составляет 0,1–0,3 л/ч, в среднем ≈ 0,2 л/ч. При этом 88,4 % всех замеров попадают в предел 0,15–0,25 л/ч, 5 % – менее 0,15 л/ч и 6,6 % – более 0,25 л/ч. При увеличении тока растет выделение тепла в электролизере, что дает некоторое увеличение потока водорода в кислороде.

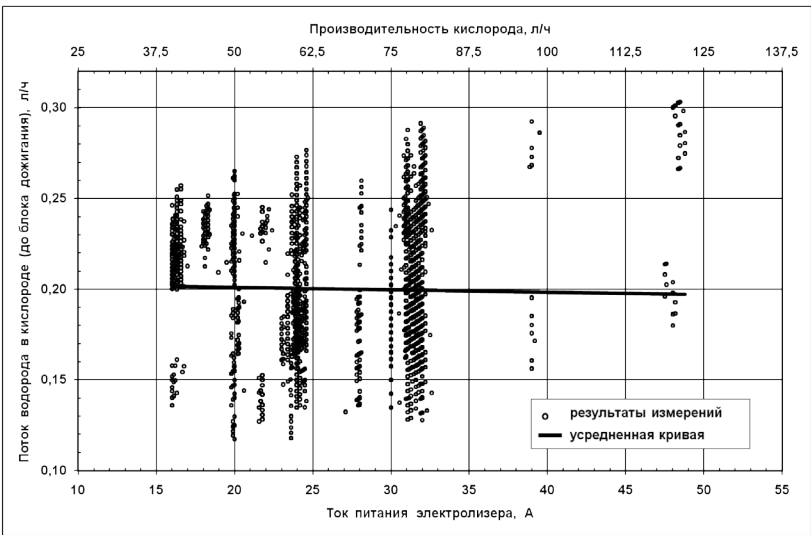


Рис. 1. Поток водорода в кислороде (до БД) в СГК «Электрон-ВМ» на борту МКС

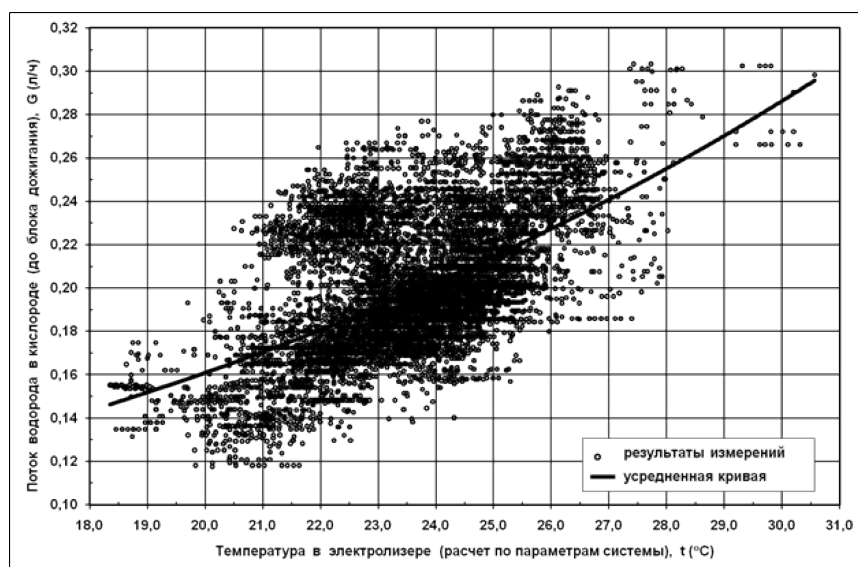


Рис. 2. Поток водорода в кислороде (до БД) в зависимости от температуры

Источники водорода в кислороде, производимом СГК при ее работе:

- диффузия водорода через пористую диафрагму в электролизере;
- протекание побочных процессов электролиза в коллекторах электролизера;
- растворение водорода в электролите в водородной камере электролизера, его последующая дегазация в разделителе и попадание в кислородную линию;
- наличие газообразного водорода в воде, которая используется для подачи в СГК на электролиз (это нештатная ситуация – нештатный источник водорода).

Диффузия водорода через пористую диафрагму в электролизере является основным источником водорода в кислороде. В СГК «Электрон-ВМ» электролизер имеет 12 диафрагм из специального асбестового картона (12 электролизных ячеек), площадь одной диафрагмы 314 см², толщина 0,5 мм, пористость 0,6, абсолютное давление в кислородной и водородной камерах электролизера $\approx 0,15$ МПа, массовая концентрация электролита (раствора КОН) 15–25 % (уменьшается в период работы), расход электролита 11 л/ч по каждой (кислородной и водородной) линии. Результаты замеров на рис. 1 являются величиной диффузионного потока водорода в кислород G (л/ч), который не зависит от тока питания электролизера, определяется температурой в электролизере t (°C) (рис. 2) и в среднем может быть оценен как:

$$G = 0,051 \cdot e^{0,058 \cdot t}.$$

Экспоненциальная зависимость диффузии от температуры согласуется с данными литературы [1].

Температура в электролизере рассчитана по математической модели тепловых режимов СГК [2], по измеряемым параметрам СГК на борту: ток питания электролизера, напряжение на электролизере, температура хладагента на входе и выходе в БЖ, температура окружающей среды в зоне установки БЖ.

Протекание побочных процессов электролиза в подводящих и отводящих коллекторах электролизера при условии их свободного протекания обеспечивает содержание водорода в кислороде 0,086 % от объема кислорода независимо от тока питания электролизера [2], и при токе 10–64 А (производительность кислорода 25–160 л/ч) дает поток водорода 0,0215–0,1376 л/ч. При проектировании электролизной СГК свободное протекание побочных

процессов в коллекторах подтверждалось высокой степенью их коррозии, выявляемой при дефектации электролизера. Поэтому были приняты конструктивные меры для подавления этих процессов.

Дефектация штатных электролизеров СГК «Электрон-ВМ» показывает резкое снижение коррозии коллекторов. Поток водорода в кислороде от тока питания электролизера не зависит (см. рис. 1). Все это свидетельствует о том, что побочные процессы в коллекторах электролизера подавлены, а их реальный вклад в общее содержание водорода в кислороде значительно меньше величины, рассчитанной при их свободном протекании, и на фоне диффузии не выявляется.

Растворение водорода в электролите в водородной камере электролизера, его последующая дегазация в разделителе и попадание в кислородную линию может быть вызвано перепадом давления в водородном разделителе (между газожидкостной и жидкостной камерами), смешиванием потоков электролита из водородного и кислородного разделителей газожидкостной смеси (перед входом в циркуляционный насос) и их последующим разделением на кислородную и водородную линии (перед входом в электролизер). Для расчета взяты имеющиеся величины растворимости водорода в гидроксид калия (КОН) [3], расход электролита в водородной и кислородной линиях по 11 л/ч, избыточное давление в газожидкостной камере разделителя $\approx 0,04$ МПа и разрежение в жидкостной камере разделителя $\approx -0,01$ МПа. Расчет максимально возможного потока дегазированного водорода, попавшего в кислородную линию, дает величину 0,012–0,024 л/ч, при снижении массовой концентрации электролита

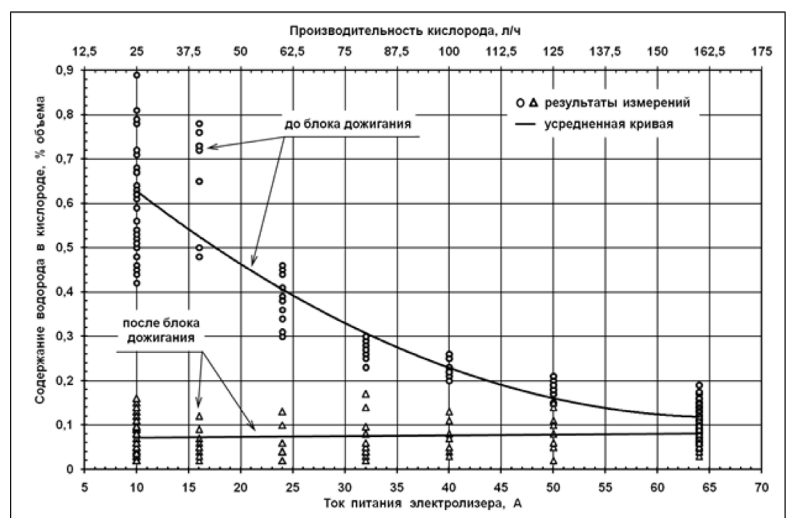


Рис. 3. Объемное содержание водорода в кислороде СГК «Электрон-ВМ» до и после БД

(КОН) с 25 до 15 %. При росте температуры с +10 до +40 °С поток снижается на 10–15 %.

С другой стороны, идет повторное растворение дегазированного водорода в электролите (избыточные давления: после циркуляционного насоса ≈ 0,15 МПа, в электролизере ≈ 0,05 МПа, в газожидкостной камере кислородного разделителя ≈ 0,04 МПа), что препятствует его выделению в свободном виде в кислородной линии. Поэтому реальный поток водорода в кислород, вызванный его растворением и дегазацией, будет значительно меньше расчетного и определяемого диффузией.

Наличие газообразного водорода в воде, которая используется для подачи в СГК на электролиз, является нештатным источником водорода. Водород вместе с водой попадает в кислородную линию БЖ из-за недостаточного контроля качества воды, поступающей на подпитку [4, 5]. Наличие водорода вызвано тем, что для подпитки использовалась вода из топливных элементов космического корабля «Спейс Шаттл», содержащая газообразный водород. На борту МКС зафиксированы факты присутствия большого количества газообразного водорода в воде для подпитки (до нескольких литров при общем объеме емкости с подпитывающей водой 22 л), что вело к быстро развивающейся нештатной ситуации с СГК «Электрон-ВМ» (для БЖ № 006 и 008), вызванной разогревом БД до высоких температур [5, 6]. Разогрев БД происходил в первые несколько минут после пуска БЖ (при этом газоанализаторы содержания водорода в кислороде были отключены от управления,

а в циркуляционный контур подавалось сразу большое количество жидкости).

При стационарной работе БЖ подача воды в циркуляционный контур идет непрерывно с расходом ≈ 0,04–0,26 л/ч (в зависимости от тока питания электролизера). При наличии в воде газообразного водорода его поступление будет равномерным и приведет только к увеличению потока водорода в кислороде по сравнению со средними значениями. Кроме того, описанная ситуация может вызвать сбой в работе циркуляционного насоса в БЖ, что наблюдалось при работе СГК «Электрон-ВМ» [5–7].

Подача газообразного водорода с подпитывающей водой в СГК является исключительным нештатным случаем и не может сколь-нибудь значительно повлиять на результаты, представленные на рис. 1 и 2. В настоящее время на борту

МКС введена подготовка воды для подпитки СГК «Электрон-ВМ», которая заключается в сепарации свободного газа по специальной методике и дополнительном контроле качества воды. В результате при работе 2 последних БЖ № 009 и 011 описанный нештатный источник водорода не проявлялся.

Работа БД в СГК «Электрон-ВМ» оценена по результатам ресурсных испытаний СГК «Электрон-ВМ» с БЖ № 001, 002 и 010 на Земле (так как на борту МКС газоанализаторы установлены только до БД). Проведено 129 замеров объемного содержания водорода в электролизном кислороде до и после БД, результаты которых представлены на рис. 3. Зависимости результатов от наработки ресурса или номера БЖ не выявлено. При пересчете объемного содержания водорода в кислороде до БД на литры в час поток водорода лежит в диапазоне 0,105–0,304 л/ч, что соответствует

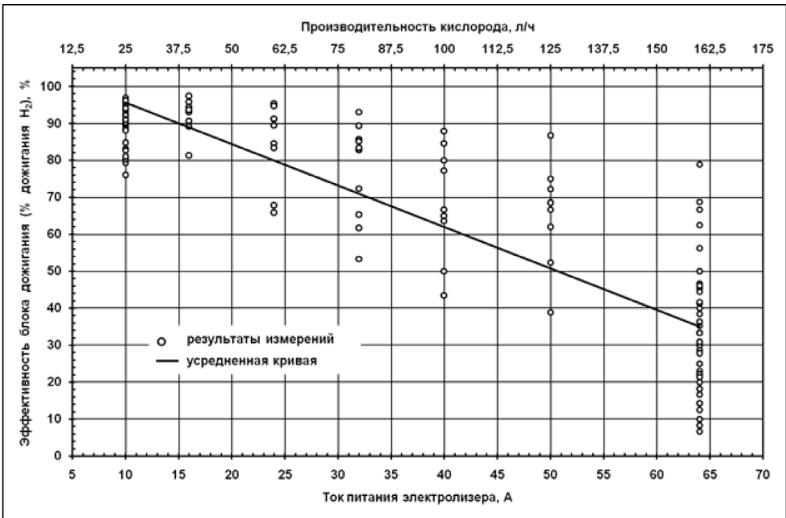


Рис. 4. Эффективность работы блока дожигания в СГК «Электрон-ВМ»

результатам, полученным на борту МКС (см. рис. 1). Объемная концентрация водорода в кислороде составляет до БД от 0,42 до 0,89 % (при производительности кислорода 25 л/ч) и от 0,08 до 0,19 % (при производительности кислорода 160 л/ч); после БД – от 0,01 до 0,16 % (при производительности кислорода 25 л/ч) и от 0,03 до 0,16 % (при производительности кислорода 160 л/ч).

Эффективность работы БД (% окисления водорода) Э (%) представлена на рис. 4 и определяется по выражению:

$$\mathcal{E} = \frac{C_{\text{до БД}} - C_{\text{после БД}}}{C_{\text{до БД}}} \cdot 100\%$$

где С до БД, С после БД – объемное содержание водорода в кислороде до и после БД (%).

Эффективность работы БД падает при снижении концентрации водорода в электролизном кислороде (при увеличении производительности кислорода). При этом БД обеспечивает на выходе из СГК «Электрон-ВМ» (при подаче экипажу) объемное содержание водорода в электролизном кислороде на среднем уровне 0,07–0,08 % вне зависимости от производительности кислорода (см. рис. 3). Количество тепла, выделяющееся в БД при его штатной работе (при окислении водорода), не превышает 1 Вт, а его нагрев не зафиксирован (за исключением описанных выше нештатных ситуаций на МКС).

Поток водорода в кислородную линию при стоянке СГК «Электрон-ВМ» (после отключения тока электролиза) определяется диффузией через пористую диафрагму оставшегося в водородной камере электролизера водорода, аналогично диффузии при работе. Остаточное напряжение на электролизере (12 электролизных ячеек) составляет ≈ 16 В сразу после отключения тока, с плавным снижением до 0 в течение десятков часов (если нет внешней нагрузки на электролизер). В кислородной камере электролизера диффузионный водород окисляется на аноде (никелевая сетка с платиновым катализатором) оставшимся кислородом. Поэтому при пуске максимальное содержание водорода в кислороде не превышает 2 % по объему в течение времени не более 3 мин, т.е. находится на безопасном уровне. Если время стоянки СГК «Электрон-ВМ» превышает 12 ч, то проводится продувка кислородной и водородной линий БЖ азотом.

Все описанные источники водорода в кислороде, производимом при штатной работе СГК «Электрон-ВМ», суммарно не превышают максимально допустимый уровень его содержания, что обеспечивает безопасность эксплуатации СГК на борту МКС.

Список литературы

1. Прошкин В.Ю. Тепловые режимы электролизной системы генерации кислорода для экипажей космических аппаратов: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1998.

2. Прошкин В.Ю., Курмазенко Э.А., Гаврилов Л.И., Кочетков А.А. Результаты функционирования системы генерации кислорода «Электрон-ВМ» на борту МКС: обобщенный анализ причин нештатных ситуаций // Системный анализ, управление и навигация: 13-я Междунар. науч. конф. (Евпатория, Крым, Украина. 29 июня – 6 июля 2008 г.): Тез. докл. М., 2008. С. 271–272.

3. Рамм В.М. Абсорбция газов. М., 1976.

4. Справочник по растворимости. Т. III. Кн. 1. / В.В. Кафаров, ред. Л., 1969.

5. Прошкин В.Ю., Курмазенко Э.А., Гаврилов Л.И., Кочетков А.А. Анализ работы системы генерации кислорода «Электрон-ВМ» № 006 и 008 на борту МКС // Пилотируемые полеты в космос: 7-я Междунар. научн.-практ. конф. (Звездный городок, Московская обл. 14–15 ноября 2007 г.): Сб. тез. Звездный городок, 2007. С. 163–164.

6. Kurmazenko E., Gavrilov L., Proshkin V. et al. Oxygen generation system: results of the operation on-board ISS and the development tendencies for interplanetary spaceflight // 60th Intern. astronaut. congr. (Daejeon, Republic of Korea) (October 12–16, 2009). Paper IAC-09-A1.6.8 (ID:2760). P. 1–10.

7. Kurmazenko E.A., Samsonov N.M., Proshkin V.Ju. et al. Off-normal Situations Related to the Operation of the Electron-VM Oxygen Generation System aboard the International Space Station // 35th Intern. conf. on environmental systems and 8th Eur. symp. on space environmental control systems (Rome, Italy) (July 11–14, 2005). SAE Technical Paper Series. № 2005-01-2803. P. 1–7.

Поступила 29.04.2013

RUSSIAN OXYGEN GENERATION SYSTEM «ELEKTRON-VM»: HYDROGEN CONTENT IN ELECTROLYTICALLY PRODUCED OXYGEN FOR BREATHING BY INTERNATIONAL SPACE STATION CREWS

Proshkin V.Yu., Kurmazenko E.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 1. P. 65–68

The article presents the particulars of hydrogen content in electrolysis oxygen produced aboard the ISS Russian segment by oxygen generator «Elektron-VM» (SGK) for crew breathing. Hydrogen content was estimated as in the course of SGK operation in the ISS RS, so during the ground life tests. According to the investigation of hydrogen sources, the primary path of H₂ appearance in oxygen is its diffusion through the porous diaphragm separating the electrolytic-cell cathode and anode chambers. Effectiveness of hydrogen oxidation in the SGK reheating unit was evaluated.

УДК 613.693+[57+551.521/551.521.6](091)«45-55»

РЕЦЕНЗИИ

Markov M. Ю.Г. Григорьев, И.Б. Ушаков, Е.А. Красавин, Б.И. Давыдов, А.В. Шафиркин. Космическая радиобиология за 55 лет. М., 2013.

e-mail: msmarkov@aol.com

Мне представилась возможность прочитать монографию «Космическая радиобиология за 55 лет», над которой работала команда самых почитаемых русских радиобиологов. Книга посвящена 50-летию Государственного научного центра РФ – Института медико-биологических проблем РАН.

Возникновение и развитие космической радиобиологии тесно связано с разработкой и реализацией советской космической программы. Поэтому книга представляет определенный ракурс истории освоения Космоса в СССР и России, у истоков которого стояли такие гениальные русские ученые, как К.Э. Циолковский и А.Л. Чижевский.

С первых страниц монографии понимаешь, что развитие космической радиобиологии стало возможным благодаря совместной работе многих научных исследовательских институтов страны и военных организаций.

В книге подробно описаны первые шаги развития космической радиобиологии. Сейчас очевидно, что отправка живых существ в космическое пространство приводит к серьезной радиационной нагрузке на организм. Однако пятьдесят лет назад это было не более чем предположение. Конечно, ученые знали, что в космических полетах защитная роль ионосферы уменьшается, но не предполагали всю сложность обеспечения радиационной безопасности исследователей Космоса.

Первая глава монографии посвящена становлению космической радиобиологии как самостоятельной научной дисциплины. В короткие сроки знания классической радиобиологии были интегрированы в сложные программы освоения космического пространства. В основе реализации этого процесса лежала кропотливая работа военных радиобиологов, инженеров, физиков, биологов, математиков, технологов.

В первое десятилетие основные исследования были направлены на определение характеристик радиационных воздействий, значимости их влияния на простые и сложные живые системы в условиях космического полета. Ученые провели широкий спектр

исследований – от экспериментов с микроорганизмами и растениями до экспериментов с собаками. В результате были решены наиболее важные задачи, касающиеся пороговых доз ионизирующего излучения Земли, радиации космического происхождения, а также создания защитных средств, обеспечивающих безопасность живых организмов, отправляемых в космические полеты.

Дальнейшее развитие космической радиобиологии связано с исследованиями, проводимыми в Институте биофизики Минздрава, что подробно описано во 2-й главе монографии. В первой серии радиобиологических исследований в ближнем космосе использовались метеорологические воздушные шары и баллистические ракеты. С запуском спутников Земли была проведена серия экспериментов уже в космосе. Космические аппараты обеспечивались дозиметрическим оборудованием, которое в режиме реального времени передавало на Землю информацию о радиационной обстановке в разных отсеках космического корабля с учетом изменения траектории его полета. Биологические эффекты воздействия ионизирующего излучения оценивали на простых организмах (семенах растений, микроорганизмах) и на различных видах животных. Важные радиобиологические данные исследователи получили при запуске в Космос собак – Белки и Стрелки. В этом полете уже была сделана попытка защитить собак от радиационных воздействий. Следующий, более длительный 22-суточный полет собак Ветерка и Уголька показал возможность космических полетов для человека.

Результаты радиобиологических исследований внесли существенный вклад в реализацию возможности отправки людей в космос, начало которой положил 108-минутный полет Юрия Гагарина. Напоминанием о первых шагах космической радиобиологии служит представленная в монографии фотография обложки известной книги «Проблемы радиационной безопасности космических полетов», изданной в 1964 г.

Большой исторический и научный интерес представляет 3-я глава монографии, посвященная созданию Института медико-биологических проблем, его развитию, проводимым в нем исследованиям. Годом рождения института принято считать 1963 г., когда появилось решение о создании Института космической биологии. Расширение задач, возложенных на институт, послужило причиной переименования его в 1965 г. в Институт медико-биологических проблем. Немаловажное значение отводилось деятельности радиобиологического подразделения института, перед которым стоял широкий круг задач. Вышедшие в период становления института монографии: «Радиационный риск на Земле и в космосе», «Космическая радиобиология» наглядно свидетельствуют об объеме проделанной работы.

В книге описан 14-летний эксперимент на большой группе собак, подвергавшихся воздействию ионизирующей радиации в течение 3 и 6 лет. В эксперименте моделировались условия воздействия космической радиации при полете к Марсу. Результаты, связанные с исследованием возможного влияния на организм длительного воздействия ионизирующего излучения в малых дозах, полученные в 1966 г., остаются по-прежнему актуальными.

С начала 1970-х годов значительно расширилось представление об источниках космического ионизирующего излучения и характере распределения излучения в пространстве. Это было особенно важно для прогноза солнечных возмущений, а также возникновения других аномалий, что необходимо для обеспечения соответствующей защиты космонавтов.

Дальнейшее развитие космической программы привело к расширению задач радиобиологических исследований, дополнив необходимость изучения комбинированного воздействия ионизирующего излучения с различными физическими факторами, которые действуют во время космического полета: вибрация, ускорение, отсутствие силы тяжести. В этом отношении уникальным является длительный полетный эксперимент на искусственном спутнике Земли «Космос-690» с животными (крысами) и источником гамма-излучения на борту. Полученные данные позволили оценить модифицирующее влияние невесомости на течение лучевой болезни как во время 22-суточного полета, так и после приземления подопытных животных. Большого внимания заслуживают работы, в которых исследовались модификации радиобиологического эффекта при возможном изменении газовой среды в космическом корабле.

Вызывают интерес эксперименты, проведенные на спутниках с биообъектами в целях изучения характера взаимодействия тяжелых ионов с тканями организма. Несомненно, высокой оценки достойны и результаты многолетних исследований на ускорителях с протонами высоких энергий и тяжелыми ионами, которые были проведены в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне (4-я глава). Эти данные позволили определить коэффициенты относительной биологической эффективности для различных видов космического излучения.

Важным и актуальным является описание модели ускоренного старения животных при облучении.

В монографии подчеркивается что, несмотря на все достижения космической радиобиологии, существует ряд проблем, которые нуждаются в дальнейшем изучении. Это касается исследований длительного воздействия малых доз ионизирующего излучения, изучения особенностей воздействия на организм тяжелых частиц, поиска новых способов защиты космонавтов, в том числе разработки эффективных радиозащитных средств, а также решения многих других задач.

Исследования по космической радиобиологии шаг за шагом повышают уровень знаний, необходимых для подготовки космонавтов к длительным космическим полетам, создают предпосылки для отправки человека на другие планеты.

Большое внимание в книге уделено международному сотрудничеству в развитии космической радиобиологии и особенно партнерству между советскими и американскими радиобиологами в подготовке проекта совместного полета корабля «Союз – Аполлон». Немаловажное значение для проведения совместных исследований имеет широкое сотрудничество с Болгарией, Чехословакией, Францией и другими странами.

Книга иллюстрирована фотографиями, которые сами по себе представляют огромную ценность. Особенно это касается редких снимков, относящихся к начальному периоду освоения космоса. Читатель может увидеть фотографии ученых, которые внесли неоценимый вклад в космическую радиобиологию в период ее становления, развития и на современном этапе.

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

УДК 616-1+616-71:612.12-073.97-71+001.818

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА МОНИТОРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ С ПОМОЩЬЮ ВСТРАИВАЕМЫХ В ОДЕЖДУ ЭЛЕКТРОДОВ

Подольский М.Д.¹, Тараканов С.А.¹, Кузнецов В.И.², Гайдуков В.С.¹

¹Центр медицинского, экологического приборостроения и биотехнологий Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики

²ООО «Кардио-патруль», Санкт-Петербург
e-mail: 21hazelnts@mail.com

Одна из актуальных задач авиакосмической медицины сегодняшнего дня заключается в развитии и совершенствовании методов диагностики функционального состояния летчиков и космонавтов. Длительный непрерывный мониторинг важных физиологических параметров, в частности электрокардиограммы (ЭКГ), позволит достоверно отслеживать отклонения в работе сердечно-сосудистой системы, более детально исследовать воздействие на организм человека индивидуальных нагрузок, вести регистр записей состояний усталости, обезвоживания, истощения и т.д.

Для решения поставленной задачи весьма перспективным выглядит размещение систем мониторинга ЭКГ в обычной одежде, которой впоследствии можно будет присвоить атрибут «умной» [1].

Первые попытки размещения систем длительного измерения ЭКГ в одежде заключались в эксплуатации стандартных адгезивных или липких электродов, для которых требуются гели или адгезивные пасты. Такие электроды позволяют получать высокоточный сигнал в силу плотного крепления на теле человека.

Очевидны причины, по которым адгезивные электроды непригодны для долговременных измерений (недели или месяцы). Во время их использования кожа лишена контакта с воздухом, наблюдается покраснение кожи на участке размещения, а также страдает волосяной покров.

Так, португальская компания Biodevices [3] предлагает 2 варианта использования кардиомонитора, позволяющего регистрировать ЭКГ: с 1 отведением ЭКГ, с записью данных в течение 5 дней либо с 5 отведениями, с возможностью работы в течение 3 сут. Данные записываются на SD-карту в цифровом регистраторе, вставленном в специально предназначенный кармашек. Размещение электродов руками позволяет осуществить тонкую настройку измерений под отдельного пользователя.

Предпочтительным вариантом перед адгезивными электродами предстают так называемые «сухие»

электроды. Как правило, это электроды из тонких токопроводящих нитей или волокон, встраиваемых в одежду, что решает вышеприведенные проблемы. В зарубежной литературе для обозначения «сухих» электродов также используются термины «текстильные» или «безадгезивные». Единственным недостатком текстильных электродов является то, что при движении человека, в том числе при мышечном напряжении, расслаблении и даже дыхании, они смещаются относительно первоначального положения, что приводит к артефактам снятия ЭКГ.

Рассмотрим наиболее перспективные, по нашему мнению, варианты реализации текстильных электродов. В Великобритании компания Equivital предлагает свой вариант «умной» одежды [3], представляющий собой ремень с лямкой через левое плечо. Ремень оснащен 3 текстильными электродами. Предлагаемое устройство позволяет измерять ЭКГ с определением параметров частоты сердцебиения и R-R интервала. Используя вспомогательные сенсоры, можно измерять кожно-гальваническую реакцию, температуру кожи и тела, насыщение кислородом крови. Одновременная регистрация нескольких параметров является перспективной в диагностике функционального состояния организма. Регистрирующее устройство записывает ЭКГ от 2 отведений. Для улучшения качества сигнала требуется увлажнять электроды мокрыми руками.

Итальянская компания Smartex выпускает на рынок майки с 2 встроенными текстильными электродами (чувствительными элементами) для мониторинга 1 отведения ЭКГ [4]. Чувствительные элементы представляют собой скопление токопроводящих волокон, которые непосредственно вплетены в майку в процессе производства. Эти волокна состоят из стальных токопроводящих нитей, которые сплетены с хлопковыми или полиэфирными нитями. Кармашек для устройства, записывающего электрические сигналы, расположен по центру на груди. Кроме того, последнее время добавляют в майки

чувствительные элементы на уровне груди для мониторинга дыхательной активности [5–7].

Представленный вариант майки по сути является модульным, так как состоит из собственно стандартной одежды и нагрудной опоясывающей ленты (пояса) со встроенными текстильными электродами, благодаря которой обеспечивается плотный контакт с кожей. В Корее были проведены эксперименты [8], направленные на выяснение, какой способ расположения лент приводит к наименьшему смещению электродов от их первоначально предназначенного размещения на теле носителя в результате мышечной активности. Результаты показали, что наиболее подходящим способом для считывания сигнала является крестообразный (перекрестный), что позволяет стабилизировать расположение электродов более эффективно как при статическом, так и при динамическом состоянии. Величина отношения сигнал/шум для ЭКГ-сигнала составила 28,8 дБ. Для сравнения: при размещении одной ленты вокруг груди величина отношения сигнал/шум оказалась меньше – 24,4 дБ. Перекрестный способ является более эффективным и пригодным для мониторинга сердечной активности.

Нити и волокна, используемые в производстве маек с ЭКГ-электродами, могут быть различными: как покрытые слоем серебра полиамидные волокна, так и нити из нержавеющей стали, скрученные с филаментарными нитями. Если исходить из электропроводности и тактильного восприятия, волокна с серебром могут быть лучшим выбором для производства электродов, пригодных для ношения вплотную к телу. Недостатками данных волокон являются низкая износостойчивость и подверженность окислению в результате потоотделения, в то время как волокна из нержавеющей стали инертны, не поддаются коррозии и имеют больший технологический срок службы.

Проводящий материал не может быть реализован только из металлической нити, так как такой участок одежды будет слишком жестким и неудобным для ношения. Содержание металла в материале есть компромисс между необходимыми электрическими и механическими свойствами.

Также интересной представляется разработка Smartex [4] с 9 электродами для мониторинга 5 отведений ЭКГ: 3 – Эйнтховена и 2 прекардиальных однополюсных отведений V2 и V5.

Чтобы улучшить контакт между тканью и кожей и уменьшить артефакты во время движения, гидрогелевые мембраны прикрепляются к электродам. Препятствием в замерах является то обстоятельство, что ткань смещается во время движения тела и в результате данные оказываются не слишком стабильными. Для решения этой проблемы требуется специальный программный алгоритм, который будет фильтровать информацию, а программа – воссоздавать движения человека.

Британская компания SmartLife анонсировала умную одежду со вшитым комплексом «сухих» сенсоров [3], что позволит регистрировать такие показатели состояния организма, как: ЭКГ, частота сердцебиений, электромиограмма, частота дыхания, температура тела. Материалом для базовой структуры являются двухслойные эластомерные нити, а для чувствительных элементов и токопроводящих каналов – покрытые серебром полиэфирные волокна.

Заявлена возможность мониторинга в режиме реального времени 24/7 с трансляцией через Bluetooth на удаленный компьютер, карманный персональный компьютер, мобильный телефон либо записью данных непосредственно на носитель в одежде. Система рассчитана на работу как в состоянии покоя, так и при интенсивных движениях. Клинический стандарт измерения ЭКГ поддерживается при помощи хлорсеребряных электродов и использования геля.

В последние несколько лет как альтернатива текстильным стали разрабатываться так называемые бесконтактные электроды [10, 11]. Принцип их действия основан на регистрации изменений емкостных параметров, в отличие от классической регистрации напряжений (токов). Возможность работы через слой одежды является существенным преимуществом таких электродов, также расширяются возможности их применения: встраивание не только в различные виды одежды, но и в спинку кресла [12]; бесконтактное измерение электромиограммы и энцефалограммы вдобавок к ЭКГ.

Нами разработано портативное устройство для получения сигналов ЭКГ с текстильных и бесконтактных электродов. На данном этапе для текстильной версии решается задача обработки артефактов, образующихся при смещении электродов, а для бесконтактной версии продемонстрирована принципиальная возможность регистрации ЭКГ через тонкий слой ткани и ведутся работы по уменьшению шумов и обеспечению устойчивого крепления электродов на одежде.

Длительное мониторинг ЭКГ дает исчерпывающую информацию об электрической деятельности сердца, и реализация такой возможности через сочетание электротехнической регистрирующей системы и стандартной текстильной одежды имеет хорошие перспективы для диагностики функционального состояния организма человека.

Список литературы

1. Cherenack K., Zysset C., Kinkeldei T. et al. Woven electronic fibers with sensing and display functions for smart textiles // *Advanced Materials*. 2010. V. 22. № 45. P. 5178–5182.
2. Cunha J.P.S., Cunha B., Pereira A.S. et al. Vital-Jacket. A wearable wireless vital signs monitor for patients' mobility in cardiology and sports // *Pervasive Computing*

Technologies for Healthcare (Pervasive Health). 4th International Conference on Munich, Munich, 2010.

3. Liu Y., Znu S.H., Wang G.H. et al. Validity and reliability of multiparameter physiological measurements recorded by the Equivital Lifemonitor during activities of various intensities // J. Occup. Environ. Hyg. 2013. V. 10. № 2. P. 78–85.

4. Paradiso R., Pacelli M. Textile electrodes and integrated smart textile for reliable Biomonitoring // Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference of the IEEE. Boston, 2011. P. 3274–3277.

5. Loriga G., Taccini N., Pacelli M. et al. Flat knitted sensors for respiration monitoring // IEEE Industrial Electronics Magazine. 2007. V. 1. № 3. P. 4–7.

6. Merritt C.R., Nagle H.T., Grant E. Textile-based capacitive sensors for respiration monitoring // IEEE Sensors J. 2009. V. 9. № 1. P. 71–78.

7. Taccini N., Loriga G., Pacelli M. et al. Wearable monitoring System for Chronic cardio-respiratory diseases // Proceedings of the 30th Annual Conference of the IEEE

Engineering in Medicine and Biology Society. Vancouver, 2008. P. 3690–3693.

8. Cho H.-S., Koo S.-M., Lee J. et al. Heart Monitoring Garments Using Textile Electrodes for Healthcare Applications // J. Med. Syst. 2011. V. 35. № 2. P. 189–201.

9. Dias T.K., Beatty P.C.W., Hurley W. et al. Contact sensors // Patent №WO/2007/036741. GB. IPC A61B 5/0408. Publication Date: 05.04.2007.

10. Chi Y.M., Cauwenberghs G. Wireless non-contact EEG/ECG electrodes for body sensor networks // Body Sensor Networks (BSN). International Conference on 2010. P. 297–301.

11. Chi Y.M., Ng P., Kang E. et al. Wireless non-contact cardiac and neural monitoring // Proceeding WH '10 Wireless Health. 2010. P. 15–23.

12. Lim Y.G., Kim K.K., Park S. ECG measurement on a chair without conductive contact // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2006. V. 53. № 5. P. 956–959.

Поступила 25.07.2013

УДК 001.18Циолковский.001.3:629.78(001.8)(047)

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ПО МАТЕРИАЛАМ XLVIII НАУЧНЫХ ЧТЕНИЙ ПАМЯТИ К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО)

Меденков А.А., Нестерович Т.Б.

Московский авиационный институт
e-mail: amedenkov@yandex.ru

В Калуге 17–19 сентября 2013 г. прошли XLVIII Научные чтения памяти К.Э. Циолковского. В них традиционно участвуют ведущие ученые и специалисты в области космической деятельности.

В этом году на пленарном заседании чтений в актовом зале здания администрации Калужской области обсуждался широкий спектр актуальных проблем развития отечественной космонавтики.

После открытия научных чтений с заглавным докладом «Владимир Иванович Вернадский: к 150-летию со дня рождения» выступил академик РАН М.Я. Маров. Сопоставляя современные представления о биосфере и идеи ученого, он оценил достижения и определил проблемы в исследованиях биогеохимических процессов и природной среды.

Непосредственное отношение к проблемам медико-биологических исследований на пленарном заседании имел доклад С.К. Крикалева, Б.И. Крючкова, М.М. Харламова и А.А. Курицына из

Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, посвященный развитию отечественной пилотируемой космонавтики и реализации намеченной стратегии космической деятельности. Профессор Р.А. Вартбаронов сделал доклад, посвященный вкладу в подготовку и осуществление первых пилотируемых космических полетов одного из основоположников отечественной космической биологии и медицины В.И. Яздовского. В связи со 100-летием со дня его рождения в канун проведения научных чтений в Государственном музее истории космонавтики в Калуге появилась стендовая экспозиция с уникальными историческими фотографиями и документами периода напряженной подготовки первых пилотируемых полетов.

Заседания секций научных чтений 2013 г. проходили в аудиториях Калужского государственного университета им. К.Э. Циолковского. Основными темами, обсуждаемыми на секциях,

стали космонавтика и общество, исследования научного творчества и философии К.Э. Циолковского, история ракетно-космической науки и проблемы ракетной и космической техники, научное прогнозирование, космическое производство и механика космического полета (КП), проблемы космической медицины и биологии, образования и профессиональной деятельности космонавтов, авиация, воздухоплавание и экономические вопросы космической деятельности.

На секционных заседаниях чтений рассматривались разные аспекты космической деятельности, подводились итоги выполненным исследованиям и обосновывались новые проблемы и задачи научно-поиска.

На специальной секции по проблемам космической медицины и биологии участники чтений заслушали доклады, касающиеся становления и современного состояния исследований по оценке работоспособности летчиков и космонавтов перед полетами и после их выполнения и внедрения инновационных методов, подходов и технологий обеспечения надежности профессиональной деятельности и продления летного долголетия.

Работу секции открыл доклад И.П. Пономаревой, которая посвятила его медико-биологической подготовке В.Ф. Быковского и В.Н. Терешковой к полетам на космических кораблях «Восток-5» и «Восток-6» в связи с 50-летием этих знаменательных событий. Подготовка к полетам осуществлялась в Государственном научно-исследовательском испытательном институте авиационной и космической медицины и была направлена на повышение функциональных возможностей организма к воздействию факторов КП. Наряду с физической подготовкой по специальной программе проводились тренировки на вибростенде и вращающихся установках, в термо-, сурдо-, баро- и сурдобарокамерах. Тренировки повышали выносливость и помехоустойчивость, активность, точность выполнения рабочих операций и уровень эмоциональной регуляции космонавтов. Успешность таких тренировок во многом обеспечивалась достижениями космической биологии и медицины, основы которой закладывались в стране еще в 30-е годы. Так, в докладе А.А. Меденкова и М.А. Миловановой говорилось об исследованиях Института авиационной медицины в 1935–1943 гг. Институт в то время по праву считался центром «авиационно-медицинской мысли» и изучения особенностей летного труда, нервно-психического состояния летчика и причин его ошибочных действий. В институте обосновывались методы нервно-психической профилактики в авиации, разрабатывались требования к органам зрения, слуха, функциональному состоянию и профессионально важным качествам летчика, методы врачебно-летной экспертизы и психофизиологического отбора. Много внимания уделялось профилактике воздушной болезни, выявлению признаков утомления

и переутомления летчиков и обоснованию методов предупреждения снижения работоспособности. Разрабатывалась методология использования барокамер в интересах оценки функционального состояния, возможностей организма летчика и его устойчивости к высотному фактору.

На секции были представлены доклады о современных проблемах обеспечения безопасности авиационных полетов и повышения профессиональной надежности летного состава. Так, интерес вызвало сообщение Т.А. Крапивницкой и Л.В. Крапивницкой о возможностях использования психодиагностики в целях прогнозирования поведения пилотов в экстремальных ситуациях. При освидетельствовании летного состава врачебно-летными экспертными комиссиями предусматривается психологическое тестирование летчиков. По результатам такого тестирования у членов экипажа одного воздушного судна были выявлены психологические предпосылки снижения профессиональной надежности в стрессовых ситуациях. Однако руководством авиакомпании соответствующие рекомендации учтены не были. В результате при возникновении в полете нештатной ситуации неуверенные, несогласованные и ошибочные действия экипажа привели к возникновению реальной угрозы жизни и безопасности авиапассажиров. Таким образом, было показано, что психологическое обследование экипажей воздушных судов становится важным направлением работы по повышению профессиональной надежности летной деятельности. В целях обеспечения безопасности полетов должна функционировать эффективная система психологического обеспечения профессиональной деятельности летного состава.

В этой связи Н.М. Козловой и А.А. Меденковым предлагалось обсудить проблему развития в стране инфраструктуры учета человеческого фактора, психологии и возможностей человека. Инженерно-психологическое и эргономическое проектирование профессиональной деятельности летчика позволяет существенно повысить безопасность полетов, качество подготовки, тренировки и работоспособность летчика и продлевает его профессиональное долголетие. В связи с этим возникает потребность в формировании и развитии инфраструктуры учета человеческого фактора, обеспечивающей разработку современных образцов авиационной техники. Однако создание такой инфраструктуры невозможно без придания этому направлению приоритетного характера путем принятия соответствующих организационных и финансовых решений.

С.М. Дворников сообщил об эффективности использования статозерометра для подготовки испытателей ОАО «Научно-производственное предприятие «Звезда» к испытаниям на центрифуге новых образцов полетного снаряжения. Исследования показали, что в результате специальных тренировок

на модифицированном стенде-тренажере у испытуемых значительно повышалась переносимость статических нагрузок мышцами, обеспечивающими переносимость больших длительных и быстро нарастающих перегрузок. А.С. Пятница и С.М. Дворников подготовили сообщение об эффективности применения переносной барокамеры для нормоксической лечебной компрессии. Использование такой барокамеры сегодня чрезвычайно актуально в связи с функциональными нарушениями в организме человека при отсутствии должного медицинского обеспечения горных восхождений и водных погружений, а также в лечебных целях при нарушениях мозгового кровообращения. Проведенные исследования доказали эффективность метода контролируемого дыхания при повышенном давлении в случаях нарушения гемодинамики и микроциркуляции почек и других органов и тканей.

Ряд сообщений, представленных для обсуждения участниками секции, касался проблем обеспечения работоспособности космонавтов при осуществлении межпланетных полетов. Так, обеспечению жизнедеятельности космонавтов на пилотируемых космических кораблях при межпланетных перелетах посвятили доклад О.А. Сапрыкин, С.В. Авдеев, А.В. Пеклевский, О.В. Кирюшин и В.В. Черемухин. Они показали, что для обеспечения таких перелетов необходимы исследования влияния гипомагнитных условий на радиобиологические эффекты воздействия ионизирующих излучений для уточнения методик расчета радиационного воздействия на экипаж с целью оптимизации его защиты. В связи с возрастанием рисков получения травм и ухудшения состояния здоровья космонавтов предложено проводить заблаговременный анализ вероятных заболеваний (травм) при осуществлении межпланетных экспедиций для совершенствования системы медицинского обеспечения.

В сообщении Е.В. Барыбиной, А.А. Меденкова, Н.Л. Москвичевой и Т.Б. Нестерович внимание акцентировалось на проблеме интеграции медико-биологического и социально-психологического обеспечения летного состава и космонавтов. В интересах профессиональной надежности летчика и космонавта учет медико-биологического и социально-психологического факторов предполагает выявление их взаимосвязи, мониторинг воздействия и индивидуального реагирования и эффективности противодействия. В связи с этим обоснована необходимость комплексных исследований влияния медико-биологического и социально-психологического факторов на профессиональную деятельность летчика и космонавта, оценки мер профилактики и эффективности повышения профессиональной надежности и разработки новых технологий сохранения здоровья и работоспособности при воздействии факторов авиационного и космического полетов.

Научное сопровождение профессиональной деятельности летного состава и космонавтов может обеспечить интеграцию потенциала многих наук и научно-практических дисциплин в интересах обеспечения безопасности полетов.

Э.И. Мацнев, Е.Э. Сигалева свое сообщение посвятили проблеме болезни движения (БД) и пространственных иллюзий. Космическая болезнь движения характерна для раннего периода адаптации к невесомости. Применительно к межпланетным экспедициям представляется важной разработка моделей БД для обоснования рекомендаций по профилактике возникновения «сенсорного конфликта» зрительных, вестибулярных, проприоцептивных и иных ощущений и реакций. Разработка таких моделей ведется на основе исследований укачивания человека на качелях в различных положениях, пребывания человека в условиях «сухого» погружения в иммерсионную среду или продолжительного вращения человека вокруг горизонтальной оси тела. Повышение адекватности разрабатываемых моделей актуально не только в целях разработки методов профилактики БД, но и необходимо для изучения особенностей двигательной активности человека применительно к «лунным» условиям гипогравитации.

Л.В. Войтулевич и С.Н. Даниличев представили сообщение об изменениях зрительного нерва у космонавтов вследствие действия невесомости в КП. Его актуальность связана с понижением остроты зрения, отеком диска зрительных нервов и повышением ликворного давления у астронавтов после длительных КП на Международной космической станции. У российских космонавтов, совершавших однократные и многократные полеты на орбитальных станциях, также отмечался отек сетчатки глаза вокруг диска зрительного нерва, как считалось, исчезающий на 3–4-е сутки после полета. Однако кампиметрия показала, что скрытый перипапиллярный отек сетчатки сохраняется не менее 7 сут восстановительного периода. Тем самым была показана необходимость кампиметрического определения размеров слепого пятна у космонавтов для выявления офтальмоскопически невидимого отека сетчатки и диска зрительного нерва у космонавтов до и после КП.

З.О. Соловьева, М.А. Скедина, Я.Ф. Панина и В.К. Ильин представили доклад, посвященный проблемам контроля состояния микрофлоры лиц в измененной среде обитания с использованием системы автоматизированного анализа изображений микробных объектов для выявления дисбиотических сдвигов и снижения риска развития воспалительных заболеваний. Для обеспечения работы такой системы создана электронная база изображений микроорганизмов и разработаны структурные модели их обобщенного описания с учетом специфики распределения по биотопам. Результаты

исследования показали высокую эффективность использования автоматизированной диагностики дисбиотических состояний покровных тканей у кандидатов в космонавты и космонавтов.

Ряд сообщений был связан с разработкой новых технологий оценки функционального состояния и здоровья космонавтов, в частности, с исследованиями, направленными на разработку методов профилактики внутричерепной гипертензии и отека зрительного нерва у космонавтов в условиях длительной невесомости. М.П. Кузьмин, Т.И. Морева и С.Н. Даниличев показали необходимость профилактики неблагоприятных эффектов невесомости и уменьшения прилива крови к голове ношением манжет на верхней трети бедра и периодическим использованием вакуумной системы «Чибис» и другими средствами. И.В. Рукавишников, Е.С. Томиловская и Е.Э. Сигалева оценили возможности использования метода отоакустической эмиссии для определения внутричерепного давления в интересах своевременного выявления состояний космонавтов, угрожающих их здоровью. Метод основан на том, что жидкие среды внутреннего уха связаны с субарахноидальным пространством головного мозга и внутричерепное давление связано с внутривнутричерепным давлением. Метод применялся одновременно с регистрацией электрического ответа улитки внутреннего уха при изменении положения тела человека в условиях моделируемой микрогравитации. Результаты исследования показали перспективность его использования с учетом данных измерения внутриглазного давления и оценки внутримозгового кровотока. Е.Э. Сигалева и Э.И. Мацнев в специальном исследовании регистрировали коротколатентные слуховые вызванные потенциалы при моделировании БД продолжительным вращением человека вокруг горизонтальной оси тела. Вращение вокруг горизонтально расположенной продольной оси тела создавало условия для каналоотолитового конфликта, лежащего в основе развития БД. При этом нарушения невральности активности ствола головного мозга объективно отражались изменением характеристик коротколатентных вызванных потенциалов, что может использоваться в целях изучения механизмов развития космической БД и медицинского контроля состояния здоровья космонавтов. О.И. Орлов, А.В. Суворов и А.В. Демин на основе результатов математического анализа потребления кислорода организмом человека в покое и при выполнении физической нагрузки в космическом скафандре разработали метод оценки энерготрат организма и модели функционирования кардиореспираторной системы в условиях воздействия различных факторов, в том числе невесомости. Разработанные модели могут быть использованы для оптимизации тренировочного процесса и оптимизации режима труда и отдыха космонавтов с учетом их физического и функционального состояния.

На важность проблемы формирования интереса к космическим исследованиям обратили внимание участники секции Э.Ф. Хабибуллина и А.А. Меденков сообщением «Формирование мотивации к космическим исследованиям». Для привлечения внимания учащихся средних образовательных учреждений к космической деятельности они показали возможности преподавания биологии и проведения биологических экспериментов в наземных условиях, не требующих особых материальных затрат и условий. Знакомство учащихся с проблемами космической биологии, и в частности со спецификой создания космических оранжерей, представляется важным этапом формирования мотивации к космической деятельности. При накоплении учащимися определенного опыта и знаний имеется возможность их привлечения к биологической программе космических исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН, Европейского космического агентства и других правительственных и неправительственных научных организаций и учреждений. Надежность деятельности летчика и космонавта, их летное долголетие, профессионализм, повышение квалификации и уровень подготовки во многом определяются именно интересом и мотивацией к овладению профессией и направленностью на реализацию в ней индивидуальных возможностей и способностей.

В целом по мнению участников заседания секции, на которой обсуждались результаты исследований медико-биологической направленности, в стране еще сохраняется потенциал научного обеспечения подготовки и осуществления межпланетных космических экспедиций в части учета человеческого фактора. Однако для его развития необходимо обеспечить более широкое вовлечение в космическую деятельность молодежи и передачу ей знаний, опыта и технологий медико-биологического обеспечения КП большой продолжительности. В связи с этим научные чтения, посвященные памяти К.Э. Циолковского, являются хорошей школой для молодых специалистов, аспирантов и студентов, интересующихся проблемами космонавтики и имеющих склонность к научным исследованиям и разработкам. Разнообразие обсуждаемых проблем, методологических принципов и подходов к их решению и практическая направленность на внедрение результатов научных исследований, несомненно, способствуют обретению научных взглядов молодыми исследователями.

Нет сомнения, что участие молодежи в научных чтениях, посещение Государственного музея истории космонавтики им. К.Э. Циолковского, дома-музея и других памятных мест в г. Калуге, связанных с его именем, надолго останутся в памяти и будут способствовать формированию и сохранению интереса к продолжению исследований космической направленности.

УДК 061.3(100):613.693.(047)

ОБ ИТОГАХ РАБОТЫ 61-го МЕЖДУНАРОДНОГО КОНГРЕССА ПО АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ

Быстрова А.Г.¹, Кузьмина А.Ю.², Усачев А.Б.¹

¹Центральная врачебно-летная экспертная комиссия гражданской авиации, Москва

²Российская медицинская академия последиplomного образования Минздрава России, Москва
e-mail: au_kuzmina@mail.ru

В г. Иерусалиме (Израиль) 6–10 октября 2013 г. состоялся 61-й Международный конгресс по авиационной и космической медицине (ICASM, 2013), который проводился в Израиле в третий раз (ранее – в 1971 и 1976 гг.). Широко была представлена география участников мероприятия: Израиль, Великобритания, США, Австралия, Германия, Франция, Индия, Китай, Сингапур, Словения, Италия, Молдавия, Венгрия и др. От России присутствовали 6 представителей. Рабочими языками конгресса были английский и французский.

Обращает на себя внимание хорошее знание английского языка авиамедицинскими специалистами Израиля и стиль работы – демократичность, доброжелательность, сотрудничество. Общение проходило в рамках обмена мнениями и не носило характера пропаганды или навязывания тех или иных позиций.

В работе конгресса приняли участие смежные специалисты, которые выступили с тематическими сообщениями: метеорологи, биологи о миграции птиц; инженеры – о разработке программного оборудования. Следует отметить высокую посещаемость практически всех мероприятий, несмотря на очень плотный график работы (начало в 7.30–8.00, включая выходные дни), что свидетельствовало о высокой мотивации всех присутствовавших специалистов. По окончании работы конгресса участникам были выданы сертификаты.

В рамках конгресса прошли заседания 10 секций, 2 из них были посвящены медицинскому обеспечению полетов военной авиации. Большинство докладов (Т. Silberring, R. Kislev, G. Elmalem, N. Tel-Oren, M. Antunano, I. Mollan) затрагивало обеспечение полетов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Докладчиками по данным вопросам были главным образом представители BBC Израиля. Это вполне объяснимо. Израиль занимает одно из ведущих мест в мире по созданию и применению БПЛА. Географические границы с Египтом, Сирией, Ираком и Иорданией и политические особенности Государства Израиль обуславливают интерес к данной проблеме. Одно из главных достоинств БПЛА – значительное уменьшение риска людских потерь. Основными критериями эффективности БПЛА являются безопасность полетов, отсутствие влияния на окружающую среду, технические стандарты и др. Эволюция БПЛА включает

совершенствование защиты от электромагнитного излучения (поиск радарами), компьютерных программ и коммуникационных систем, уменьшение массы конструкции, автономного режима работы. На сегодняшний день существует более 150 моделей БПЛА. В ближайшее время они будут классифицированы (по осуществлению контроля – ручной/автоматический режим управления; получению информации – визуальная/аудиальная; управление – пилотом/оператором и др.). Отмечается интеграция этих систем как в общественной жизни, так и в гражданской авиации. В Израиле предусмотрены курсы специальной подготовки пилотов-операторов. Главным вопросом в этом направлении остается отсутствие четких медицинских стандартов в оценке этой категории специалистов и проблема человеческого фактора. Самыми важными являются осуществление первичного отбора для подготовки специалистов и моральные аспекты последующей профессиональной деятельности, в том числе принятия решения о необходимости проведения военной операции и выбора цели мишени. При медицинском обследовании особое внимание обращают на оценку функций зрения, слуха, равновесия и психологическое тестирование.

Один из докладов был посвящен проблеме столкновения воздушных судов с птицами: рассматривались 11 авиационных катастроф, связанных с этой причиной. Ежегодно весной и осенью более 500 млн птиц мигрируют через Израиль, в том числе пеликаны. Основными мерами противодействия столкновениям являются создание карт миграции птиц, отслеживание их радарами, а также тесное сотрудничество по данному вопросу с биологами, в том числе из Иерусалимской обсерватории птиц.

Использование эхокардиографии в качестве скрининговой методики у кандидатов BBC Израиля рассматривалось в докладе Y. Levy. Было обследовано 2657 человек. У 94,3 % (n = 2506) из них не было выявлено отклонений. В 5,7 % случаев (n = 151) обнаружены аномалии, чаще всего в виде пролапса митрального клапана. Данные эхокардиографии послужили причиной дисквалификации 1 % случаев.

Три сообщения (S. Guo, M. Monteli, I. Mollan) посвящались вопросам авиамедицинской эвакуации.

Обращалось внимание на то, что авиамедицинская эвакуация позволяет существенно сократить смертность среди раненых и больных. Рассматривались стандарты безопасной транспортировки пострадавших.

Половина докладов секции «Человеческий фактор» была также посвящена проблемам БГЛА (S. Sharma, N. Samuel, E. Feiger, H. Ortega). Другие сообщения касались вопросов оказания психологической помощи во время кризиса в Румынии в июле 2010 г. (I. Oz), суточных изменений исполнительной когнитивной функции у кадетов-пилотов (D. Todder), умственного утомления во время моделирования полета с ухудшением выявления изменений предварительного внимания: доказательство для визуального негативного рассогласования (Y. Liu).

В секции «Физиология» освещались вопросы: использование костюма с электрической миостимуляцией для повышения G-устойчивости (U. Balldin); барорефлекторная функция во время негипоксической гипобарии (K. Tripathi); влияние гипоксии на когнитивные функции и электрическую активность головного мозга (L. Balazs); влияние физических упражнений на высотнo-индуцированную гипоксемию и последствия для тестирования и использования дополнительных кислородных систем (P. Hodgkinson); оценка вибротактильной чувствительности при продолжительной имитации полета на вертолете (J. Crowley); внезапная потеря сознания и судороги во время высотной подготовки в гипобарической камере (L. Chapnik).

На заседаниях секции «Космическая медицина» заслушаны доклады по следующим темам: физиологические реакции при дезориентации ноги – голова в условиях космического полета (J. Sharma); командная подготовка для успешного выполнения продолжительной космической миссии (J. Orasanu); использование симуляционной комнаты для миссии колонизации космоса (J. Myers); медицинская оценка участников космического полета в коммерческих космических полетах (J. Vanderploeg); дыхательный ответ на выполнение лунной работы с использованием скафандра с гравитационной нагрузкой (V. Jain); исследование эффекта ударного ускорения на экипаж при использовании костюма с полным давлением во время приводнения (W. Suzuki). Приятно отметить, что большинство докладчиков по вопросам космической медицины отметили важную роль России в привлечении внимания к разработке перечисленных направлений исследований. Большой интерес вызвал исторический доклад Ch. Berry, посвященный космическим программам, в котором он коснулся сотрудничества с Институтом микробиологических проблем.

В работе секции «Передовые технологии» обсуждались вопросы использования систем мониторинга здоровья пилотов в реальном времени (Y. Kranz), современной робототехники при работе в чрезвычайных ситуациях (Y. Herzig), видимости радаров в условиях снега (G. Reuter), оценки использования белого света, обогащенного голубым спектром для противодействия

усталости контролеров, работающих в ночную смену (B. See). Обращалось внимание, что допустимая яркость в ночную смену у диспетчеров управлением воздушным движением – 40 люкс. Отдельное сообщение было посвящено медицинским разработкам в области нейротехнологии и бионике – использованию робототехники у лиц с ограниченными возможностями (M. Antunano, H. Ortega).

В секции «Кардиология» представлены доклады: «ЭхоКГ-находки у молодых здоровых пилотов до и после интенсивных физических нагрузок» (Y. Levy), «Длительный постельный режим в положении с опущенной головой увеличивает неоднородность процессов реполяризации по данным ЭКГ» (V. Starc). Приводились данные давления в легочной артерии у молодых здоровых лиц: в норме оно составляет менее 30 мм рт. ст., показатель коррелирует с диаметром аорты, возрастом и др. (A. Prokupetz), а также данные ЭКГ у лиц, поступающих на обучение в ВВС Израиля (A. Grossman). При анализе данных ЭКГ за 1994–2010 гг. у 11,8 % здоровых лиц имелись отклонения, в 18,75 % изменения являлись причиной дисквалификации.

Рассматривался случай болезни Лайма (A. Batchelor), осложненной кардитом у 51-летнего пилота 1-го класса медицинских заключений. Обращалось внимание на то, что частыми кардиальными проявлениями болезни Лайма являются нарушения ритма и проводимости сердца, наиболее часто АВ-блокада. Диагностика заболевания основана не только на клинических проявлениях, анамнестических указаниях на укус клеща и исследовании ДНК-возбудителя. Определение генотипа важно для решения вопроса о реинфекции. При решении вопроса о допуске к профессиональной деятельности после курса медикаментозного лечения оценивается не только клиническое излечение, но и наличие остаточных симптомов (post Lyme disease syndrome), таких как быстрая утомляемость, депрессия, головная боль, нейрокогнитивные симптомы и др.

Сделан доклад об ЭКГ-признаках синдрома Бругада у членов экипажа (F. Pettyjohn). Этот синдром впервые был описан в 1992 г. в журнале American College Cardiology. Синдром Бругада ассоциирован с внезапной смертью, СВ-тахикардией (20 %), фибрилляцией предсердий (10–20 %). В 20–50 % случаев структурные изменения сердца отсутствуют. Предполагается в генезе заболевания нарушение натриевых каналов сердца. Описано около 80 мутаций при этом синдроме, встречается преимущественно аутосомно-доминантный тип наследования, отмечены 3 типа ЭКГ-изменений синдрома Бругада, что имеет важное значение для оценки прогноза. Выявление ЭКГ-признаков Бругада 1-го типа является основанием для дисквалификации пилотов всех классов; 2-го, 3-го типов – только при наличии симптомов. Риск для пациентов с бессимптомным течением заболевания составляет примерно 0,5 %. В США этот синдром был зарегистрирован у пилотов в 13 (0,023 %) случаях, в 8 случаях он являлся причиной

дисквалификации. Чаще всего он встречается в молодом возрасте – в среднем 24,5 года (21–30 лет).

Вопросам клинической медицины было посвящено 3 заседания секции. Сообщение R. Orford затрагивало вопросы скрининга рака кожи с использованием портативного лазерного прибора. Дермоскопия – полезная диагностическая процедура для обнаружения меланомного и немеланомного рака среди членов экипажа, доступная любому практикующему врачу, не представляет больших сложностей в использовании и высокоинформативна.

Рассматривались методики оценки функции зрения у молодых пилотов. Изучалась частота миопии у молодых пилотов Израиля (R. Pokroy). Так, в 1990 г. частота миопии составила 20,3 %, в 2002 г. – 28,3 %. Одна из возможных причин – использование компьютера. Так, программа обучения в университете включает до 10 ч занятий в день при 5-дневном обучении в неделю. Другое исследование (D. Todder) израильских пилотов касалось биоритмологических вопросов. Проводилось стандартное психологическое тестирование в разное время суток: 6.30, 17.00, 21.00. Обращалось внимание, что с точки зрения биоритмологии самыми уязвимыми периодами являются 2 временных интервала: 2.00–5.00 и 15.00–17.00.

MPT-исследование для оценки изменений виллизьева круга было использовано в качестве скрининга у 3240 китайских пилотов в возрасте 31–60 лет (Q. Chuanya). У 2246 человек отмечалась нормальная анатомо-физиологическая картина. В 76,7 % случаев аномалий отмечался сбалансированный кровоток.

Интересное сообщение из Великобритании касалось авиамедицинских аспектов проявлений болезни Паркинсона (T. Jagathesan). Обращалось внимание на то, что кроме типичного проявления – тремора, могут присутствовать такие симптомы, как брадикинезия, гипофония, дисфония, дизартрия, ригидность, нарушения сна, депрессии, утомление и др. Трудности диагностики привели к тому, что диагноз не был установлен в течение 23–38 нед от начала появления симптомов. Самому молодому человеку было 37 лет, возрастному – 70 лет.

Три доклада касались вопросов оториноларингологии, 2 из них – нейросенсорной тугоухости (J. Couturier, Hila Bar Cohen) и 1 – баротравматического отита (R. Rak). Около 70–87 % всей патологии лор-органов связаны с травматическим шумовым повреждением органа слуха. Основным скрининговым методом остается проведение тональной аудиометрии (на частотах 500, 1000, 2000 и более 3000 Гц) первично и в последующем 1 раз в 5 лет. В работе этой секции принимал участие врач-оториноларинголог Центральной врачебно-летной экспертной комиссии А.Б. Усачев.

Два сообщения (Jean-Francois Paris – Франция, P. Verde – Италия) были посвящены вопросам профессионального допуска беременных женщин-пилотов. Так, итальянские специалисты обращали внимание на то, что во время беременности снижаются когнитивные

функции. Во Франции до 2005 г. беременные женщины признавались негодными к полетам. С 2005 по 2013 г. годность распространялась на сроки беременности до 26 нед. За это время было допущено 18 беременных женщин-пилотов. Основные рекомендации касались освобождения от выполнения полетов в зоны с малярией, предпочтительно выполнение менее продолжительных полетов, как можно более раннее проведение УЗИ плода, соблюдение жесткого протокола наблюдения (1-й визит – до 22 нед, 2-й – в 22 нед, 3-й – до 26 нед для определения годности). С 2013 г. во Франции вводится концепция неотстранения беременных женщин-пилотов при нормальном течении беременности, хорошем самочувствии женщины, мотивации на выполнение полетов, отсутствии медицинских противопоказаний для выполнения полетов.

Обратил на себя внимание клинический случай потери герметичности воздушного судна, пилотируемого 23-летней израильской женщиной – военным пилотом. Отмечались следующие симптомы у пострадавшей: пневмомедиастинум, пневмоперикард, пневмоторакс, подкожная эмфизема, судорожный приступ. Пароксизмальная активность головного мозга была спровоцирована гипоксией головного мозга, MPT головного мозга оказалась нормальной. Активное лечение, включая гипербарическую оксигенацию, привело к быстрому регрессу симптомов, через 2 дня пациентка была выписана из клиники, далее был продолжен амбулаторный этап реабилитации. Через 4 мес она приступила к профессиональной деятельности.

Привлекло внимание также сообщение M. Berry о медицинской сертификации пилотов в США, в котором рассмотрены подходы к сертификации основных соматических заболеваний. Можно отметить большую роль в оценке состояния здоровья и очень широкое допущение лиц с отклонениями в состоянии здоровья практически для всех классов медицинских сертификатов. Отдельное сообщение было посвящено вопросам медикаментозного лечения депрессии у американских пилотов и при наличии определенных условий возможный допуск их к профессиональной деятельности (G. Kay).

Рассматривались также вопросы авиационной безопасности у военных пилотов с нижнечелюстной протазией (S. Kaushik), ретроградной внутрипочечной гибкой уретроскопии при камнях чашечек у 6 пилотов гражданской авиации (Li Jing-Min). Были представлены результаты рандомизированного проспективного исследования, посвященного использованию гипербарической оксигенации при хронических когнитивных нарушениях после черепно-мозговых травм (S. Efrati), лечения обморожения конечностей (B. Sekhar). Доложены клинические случаи глубокого венозного тромбоза у пилота (K. Murthy) и хирургического лечения цервикальной эктопической кисты тимуса у женщины-пилота из Китая (X. Xu).

От российской группы участников было сделано 3 доклада. На секции «Клиническая медицина 3» заслушано

2 доклада: «Гипертоническая болезнь у пилотов старшей возрастной группы» (А.Ю. Кузьмина), содержащий фрагменты диссертационной работы автора, и «Распространенность и клинические особенности метаболического синдрома у авиационного персонала гражданской авиации России» (А.Г. Быстрова, Е.А. Праскурничий, В.Д. Юстова). В рамках Poster Sessions был представлен доклад «Показатели физической активности у пилотов гражданской авиации» (А.Ю. Кузьмина, В.В. Книга, В.Д. Юстова, А.Г. Быстрова, Г.Н. Бирюкбаева).

Более подробно с материалами конгресса можно будет ознакомиться в Интернете: www.icasm2013.org/

images/stories. Большинство авторов выразили согласие не только на публикацию абстрактов, но и представление слайдов сообщений.

В заключение следует еще раз подчеркнуть хорошую организацию конгресса и его высокую результативность. Широко были представлены доклады по вопросам космической медицины, медицинскому обеспечению полетов в гражданской и военной авиации. Многие участники конгресса проявляли неподдельный интерес к российским специалистам, нашим научным достижениям, опыту работы и неоднократно высказывали пожелания о проведении мероприятия подобного масштаба в России.

УДК 061.62:613.693«45–55»/047

О ПРАЗДНОВАНИИ 50-ЛЕТНЕГО ЮБИЛЕЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ – ИНСТИТУТА МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Денисов С.Л., Романов А.Н., Помелова М.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва
e-mail: denisov@imbp.ru

В статье перечислены основные мероприятия, реализованные в рамках празднования 50-летнего юбилея ведущего учреждения российской науки в области космической биологии, физиологии и медицины Государственного научного центра Российской Федерации – Института медико-биологических проблем Российской академии наук.

В 2013 году Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ – ИМБП РАН, коротко – ИМБП), созданный 28 октября 1963 г., праздновал свое 50-летие.

Подготовка к этим мероприятиям осуществлялась в соответствии с распоряжением Президиума РАН № 12400-980 от 9.11.2012 г. «О проведении юбилейных научных мероприятий, посвященных 50-летию со дня создания ГНЦ РФ – ИМБП РАН».

Одним из первых таких мероприятий стало проведение в ИМБП 16 апреля 2013 г. XII конференции молодых ученых, специалистов и студентов, которая продемонстрировала, что нынешнее поколение достойно продолжает дело сотрудников, заложивших основы таких наук, как космическая биология, космическая физиология и космическая медицина.

Расширенный ученый совет ИМБП, на котором с кратким анализом основных научных достижений Института выступил вице-президент РАН, научный руководитель ИМБП академик А.И. Григорьев, состоялся 24 октября 2013 г.

Тепло и сердечно сотрудников Института с юбилеем поздравил заместитель руководителя Роскосмоса – начальник управления пилотируемых программ А.Б. Краснов.

От Федерального медико-биологического агентства с поздравлениями и пожеланиями дальнейших успехов выступили начальник управления С.М. Беляев и начальник одного из отделов этого управления А.М. Бабин.

Вслед за этим состоялось награждение ветеранов ИМБП, внесших наибольший вклад в развитие наук о жизни в космосе. Особо следует отметить факт вручения ряду сотрудников медалей им. О.Г. Газенко, незадолго перед этим учрежденных Бюро Президиума Федерации космонавтики России по инициативе ИМБП.

После заседания ученого совета были торжественно открыты мемориальные доски первым директорам Института академикам А.В. Лебединскому, В.В. Парину и О.Г. Газенко (автор эскизов С.Л. Денисов, изготовитель ООО «Аквилон»).

В период с 28 по 30 октября 2013 г. в рамках празднования 50-летия ИМБП в главном здании РАН состоялась XIV Конференция по космической биологии и авиакосмической медицине с международным участием, организационный комитет которой был утвержден вышеприведенным распоряжением Президиума РАН.

Перед началом работы конференции все собравшиеся смогли ознакомиться с выставочной экспозицией, посвященной 50-летию ИМБП (ответственный исполнитель М.С. Белаковский). На стендах была представлена

история ИМБП в фотографиях, а также основные направления его деятельности. В их числе: 1). Медицинское обеспечение пилотируемых космических полетов; 2). Средства медицинского обеспечения для экипажей МКС; 3). Участие в поиске и спасении космических экипажей на месте приземления; 4). Система телемедицинской поддержки экипажей; 5). Защита экипажа космического корабля от ионизирующего излучения; 6). Регуляция двигательной активности в осложненных условиях; 7). Молекулярная физиология мышц; 8). Средства и методы повышения физической работоспособности; 9). Опытно-конструкторская деятельность; 10). Клеточные технологии; 11). Гравитационная физиология; 12). Метабономика. Ряд стендов был посвящен инновационной деятельности ИМБП в области реабилитации; приборам и аппаратуре, разработанной «СКБ ЭО при ГНЦ РФ – ИМБП РАН»; технологии «Навигатор здоровья»; проекту «Марс-500»; телемедицинским технологиям; виртуальной реальности; аппаратуре для бортовых исследований на российском сегменте МКС.

Кроме того, здесь же, в фойе большого концертного зала РАН была развернута посвященная космосу выставка детского рисунка.

Пленарную сессию XIV Конференция 28 октября, в День рождения Института открыл вице-президент РАН, научный руководитель ИМБП академик А.И. Григорьев.

Благодарность Президента Российской Федерации, которой коллектив ИМБП был удостоен «За большой вклад в становление и развитие космической биологии, физиологии и медицины, создание современной системы медико-биологического обеспечения полетов на пилотируемых и беспилотных космических аппаратах», директору Института академику И.Б. Ушакову вручил помощник Президента Российской Федерации А.И. Фурсенко.

Затем Институт поздравили: заместитель министра здравоохранения России С.А. Краевой, президент РАН академик В.Е. Фортов, директор Всероссийского научного кардиологического центра академик Е.И. Чазов, заместитель руководителя Роскосмоса – начальник управления пилотируемых программ А.Б. Краснов, помощник руководителя Роскосмоса летчик-космонавт Ю.В. Лончаков, президент – генеральный конструктор РКК «Энергия» им. С.П. Королева» член-корреспондент РАН В.А. Лопота, начальник Научно-исследовательского испытательного центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина летчик-космонавт С.К. Крикалев, заместитель председателя Комитета по обороне Государственной Думы Российской Федерации летчик-космонавт С.Е. Савицкая, заместитель руководителя Федерального медико-биологического агентства Министерства здравоохранения России В.А. Рогожников, главный ученый секретарь РАН академик В.А. Тутельян.

Первый заместитель директора ИМБП член-корреспондент РАН О.И. Орлов зачитал поздравление,

которое поступило в адрес Института и его сотрудников от председателя комитета по науке Государственной Думы Российской Федерации академика В.А. Черешнева.

Особенно живую реакцию собравшихся вызвало поздравление, которое прозвучало с космической орбиты от российских членов экипажа МКС: М.В. Тюрин, О.В. Котова и сотрудника ИМБП С.Н. Рязанского.

Затем был продемонстрирован фильм «50 лет ГНЦ РФ – ИМБП РАН» (авторы М.С. Белаковский, Ю.А. Волосюк, О.В. Волошин).

Вслед за этим с докладом «Институт медико-биологических проблем: прошлое, настоящее и будущее» выступил директор ИМБП академик РАН И.Б. Ушаков.

После этого доклада с кратким обсуждением рассмотренных в нем вопросов и поздравлениями в адрес сотрудников и ветеранов ИМБП выступили: директор отделения медико-биологических и физических наук NASA Marshall Porterfield, директор пилотируемых программ NASA Sean Fuller, главный научный сотрудник – руководитель программы по исследованиям на человеке NASA John Charles, глава отдела эксплуатации Европейского космического агентства Martin Zell, директор представительства Японского агентства по аэрокосмическим исследованиям в Москве Akira Kosaka, начальник Программы по наукам о жизни Германского аэрокосмического агентства Gunter Ruyters, директор Института аэрокосмической медицины в г. Кельне Rupert Gerzer, официальный представитель Французского космического агентства Тулузе Lionel Suchet, атташе по науке Посольства Италии в Москве Pietro Fre. Все выступающие отметили выдающийся вклад специалистов ИМБП в создание и всестороннее развитие таких наук, как космические биология, физиология, медицина, радиобиология, кардиология, что, в свою очередь, обеспечило успешное развитие пилотируемой космонавтики.

Кроме того, Институт и его сотрудников поздравили: председатель Уральского отделения РАН, вице-президент РАН академик В.Н. Чарушин, академик-секретарь отделения физиологии и фундаментальной медицины РАН академик Ю.В. Наточин, начальник Научно-исследовательского испытательного центра авиационной и космической медицины и военной эргономики МО РФ профессор М.Н. Хоменко, директор Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна ФМБА России профессор К.В. Котенко, генеральный директор – генеральный конструктор НПП «Звезда» С.С. Поздняков, первый заместитель генерального конструктора РКК «Энергия» им. С.П. Королева летчик-космонавт член-корреспондент РАН В.А. Соловьев, президент Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского И.В. Бармин, первый заместитель генерального конструктора Государственного научно-производственного ракетно-космического центра «ЦСКБ-Прогресс»

А.Д. Сторож, заместитель начальника Главного военно-медицинского управления МО РФ К.Э. Кувшинов, заместитель генерального директора Государственного космического научно-производственного центра им. М.В. Хруничева В.Л. Иванов.

Завершился первый день работы Конференции концертом всемирно известной певицы Нани Брегвадзе.

Секционные заседания в рамках этой конференции состоялись 29 и 30 октября.

На секции «Медицинские проблемы годового полета человека в космос» были заслушаны доклады: «Минимизация медицинских рисков для здоровья и работоспособности экипажей в длительных космических полетах», «NASA's human research program planning for international collaboration and the year-long ISS mission», «Клиническая медицина в космосе: направления развития», «Российская система оказания медицинской помощи в космических полетах на МКС и пути ее совершенствования», «An evidence base for human spaceflight risks in Wikipedia», «Оценка риска повышения внутричерепного давления и отека диска зрительного нерва у космонавтов в условиях длительной невесомости», «Развитие новых подходов к профилактике неблагоприятного влияния невесомости на основе результатов годичного эксперимента в условиях АНОГ», «Developing artificial gravity requirements for space exploration missions», «Система психологической поддержки экипажей в длительных космических полетах», «Прогнозирование клинико-функционального состояния человека после радиационных воздействий в малых дозах на основе оценки исходной индивидуальной реактивности организма».

На секции «Актуальные проблемы психофизиологии в авиационном и космическом полетах» участники выступили с докладами: «Роль Института медико-биологических проблем в развитии космической эргономики», «Методика «гомеостат»: наземные эксперименты – космический полет», «Оценка влияния неблагоприятных факторов длительных космических полетов на работоспособность и качество операторской деятельности космонавта в полете», «Results of the wireless group structure experiment in the Mars-500 project», «Перспективы применения современных нейротехнологий на борту космического аппарата», «Опасность психологического стресса на высокоавтоматизированных самолетах», «Human research on commercial space flights: issues and opportunities», «Межличностное восприятие и успешность адаптации в интернациональных группах, работающих в экстремальных условиях (по результатам эксперимента «Марс-500»)», «Взаимосвязь изменения ночного сна и способности к саморегуляции в условиях сверхдлительной изоляции», «Виртуальное моделирование операторской деятельности в экстремальных условиях»,

«Psychological content analysis of Russian and English language crew communication in Mars-500 by corpus linguistic methods with focus on indirect measures», «The wide perspective on Mars-500 as an analog of deep space exploration: the Czech monograph», «Комплексная оценка нейрофункциональных коррелятов мозговой активности в условиях имитации полета в дальний космос», «Профессиональный психологический отбор в авиацию: современное состояние, проблемы и перспективы», «Опыт применения адаптогена растительного происхождения в условиях 105-суточной изоляции».

На секции «Авиационная медицина» прозвучали доклады: «Медицинские проблемы обеспечения безопасности полетов в современных условиях и пути их решения», «Значимость некоронарогенной патологии сердца в структуре сердечно-сосудистых заболеваний у лиц летного состава», «Программный модуль расчета вероятности травмирования позвоночника у летчика при катапультировании на больших скоростях полета», «Динамика показателей профессионального здоровья курсантов летного училища в процессе обучения», «Совершенствование системы информационного обеспечения врачебно-летной экспертизы в интересах сохранения здоровья и профессионального долголетия летного состава», «Применение комплексного биомеханического исследования для оценки влияния комплектов индивидуальной экипировки на работоспособность человека», «Характеристика сопутствующей органной патологии у летного состава внутренних войск МВД России».

На секции «Космическая биология» были заслушаны доклады: «К 40-летию первого полета биоспутника «Бион», «Эксперименты и исследования по проекту «Бион-М1»», «Итоги подготовки и перспективы исследования фельзумы украшенной (Phelsuma ornata) (Squamata: Gekkonidae) на КА «Фотон-М4»», «Перспективы биологических исследований на автоматических космических аппаратах при полетах по высокоапогейным орбитам», «Результаты исследований по длительному экспонированию покоящихся форм различных организмов в космическом пространстве», «Итоги исследования влияния факторов космического полета на эмбриогенез японского перепела в условиях невесомости», «Структурно-функциональное состояние лимфатических сосудов и узлов при антиортостатическом воздействии», «Исследование влияния гипомангнитных условий на эмбриогенез японского перепела».

На сессии «Гравитационная физиология костной ткани и скелетных мышц» участники выступили с докладами: «Костная система космонавтов в полетах на международной космической станции», «Клеточные механизмы потери костной ткани в условиях микрогравитации», «Bone tissue and space environment», «Математическое моделирование репаративной регенерации костной ткани», «Причины

атрофии мышц в невесомости: снижение активности или снижение нагрузки? Молекулярные механизмы», «Изоформ-специфическое влияние функциональной разгрузки на Na,K-АТФазу в скелетной мышце», «Components of the Homer family sense active vs. passive muscle contraction motions in rat calf neuromuscular junctions (NMJS). Or simply, a muscle adaptation process?», «Изменение изоформного состава и функциональных свойств белков миозиновых и актиновых нитей поперечно-полосатых мышц в условиях микрогравитации», «Что запускает работу убиквитин-протеасомной системы мышц при их функциональной разгрузке. Как сломать сценарий?», «The 2013 German – Russian Bion-M1 joint flight project: neuromuscular and skeletal muscle changes in mice housed in a biosatellite on orbit».

На секции «Клеточно-молекулярные механизмы влияния экстремальных факторов и клеточные технологии в космосе» прозвучали доклады: «Parfenovs conjecture on dimensional limits in space biology in the context of holographic gravity», «Взаимодействие мультипотентных мезенхимальных стромальных и иммунных клеток: реципрокные эффекты», «Особенности экспансии мононуклеаров пуповинной крови при гипоксии с использованием мезенхимальных стромальных клеток из жировой ткани», «Жизнеспособность и экспрессия молекул адгезии ММСК на ранних этапах взаимодействия с мононуклеарами пуповинной крови in vitro», «Проблемы и перспективы проведения космических экспериментов с клеточными культурами на российском сегменте МКС», «Влияние моделируемой микрогравитации на строение цитоскелета, миграцию и синтез молекул адгезии эндотелиальными клетками человека», «Мезенхимальные стволовые клетки человека в условиях моделирования эффектов микрогравитации», «Влияние измененной силы тяжести на тканевые базофилы слизистой оболочки тощей кишки монгольских песчанок», «Фотодинамическое воздействие: проблемы и перспективы использования».

На секции «Актуальные вопросы барофизиологии, баротерапии и водолазной медицины» были заслушаны и обсуждены доклады: «Особенности дыхания человека при пребывании в воде на различных глубинах», «Моделирование риска возникновения декомпрессионной болезни у человека при авиакосмической и подводной деятельности», «Лечение больных с декомпрессионной болезнью в отделении ГБО многопрофильного стационара: проблемы и возможности», «Новые подходы к лечению декомпрессионной болезни», «Кислородозависимые механизмы действия повышенного давления индифферентных газов на организм», «Использование инертных газов в спортивной медицине и психологии», «Индивидуальные эффекты влияния тренировок дыхания гипоксической гелиевой смесью на физическую работоспособность человека».

На секции «Гравитационная физиология кардиореспираторной системы» участники выступили с докладами: «Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы космонавтов в условиях микрогравитации», «Артериальная гемодинамика человека в невесомости и ортостатическая устойчивость», «Динамика состояния вен нижних конечностей космонавтов МКС в невесомости», «Исследования вегетативной регуляции кровообращения на международной космической станции», «Cardiovascular health monitoring during deep space missions. Cardiopsy in Mars-500», «Alterations in autonomic cardiovascular control elicited during parabolic flight in the Mars-500 crew», «Teleauscultation results in the Mars-500 experience. Clinical results and perspectives», «Хеморецепторные механизмы регуляции дыхания при антиортостатическом моделировании физиологических эффектов невесомости», «Оценка возможности коррекции гравитационно-зависимого сдвига жидких сред в краниальном направлении с помощью дыхания под отрицательным давлением на вдохе».

На сессии «Профилактика функциональных расстройств в космических и авиационных полетах» прозвучали доклады: «Оптимальные режимы локомоторных и резистивных тренировок для эффективной профилактики негативных влияний невесомости», «Электромиостимуляционная тренировка (ЭСТ) в условиях микрогравитации и ее влияние на архитектуру мышц человека», «Пространственная ориентировка летчиков в маневренном полете», «Развитие средств профилактики в полетах экипажей на МКС».

На секции «Механизмы физиологических ответов на экстремальные воздействия» были сделаны доклады: «Адаптивные изменения дыхательных и локомоторных мышц и снабжающих их артерий при физической тренировке аэробной направленности», «Методическое обеспечение ризкометрии опасных состояний человека в условиях гипоксической гипоксии», «Метаболическое обеспечение адаптивного ответа организма у человека при экспериментальной острой выраженной нормобарической гипоксии», «Кардиореспираторная система и физическая работоспособность здорового человека в условиях повышенных температур и концентраций CO», «Восстановление дыхания у крыс после длительной остановки при глубокой гипотермии без отогревания», «Экспрессия Hif-1α и Hif-3α в мультипотентных мезенхимальных стромальных клетках при культивировании в условиях пониженного содержания кислорода», «Роль паракринной регуляции и клеточных контактов в реализации иммуносупрессивных свойств ММСК в условиях гипоксии».

На секции «Радиобиологические проблемы обеспечения безопасности пилотируемых космических полетов» участники выступили с докладами: «Принципиальные проблемы радиационного нормирования

при межпланетных полетах», «К оценке риска биологического действия галактических тяжелых ионов в условиях межпланетного полета», «Космическая радиобиология – от опыта орбитальных полетов к проблемам межпланетных экспедиций», «Изучение комбинированного действия радиационного и нерadiационных факторов межпланетных космических полетов на поведение и его нейрохимические механизмы в модельных экспериментах на животных», «Перспективные задачи космической радиобиологии для уменьшения неопределенностей в расчетах суммарного радиационного риска в течение жизни космонавтов после длительных орбитальных и межпланетных полетов», «Сравнительная оценка адаптационных реакций организма по функциональному состоянию системы кроветворения и метаболизму эритроцитов при сочетанном воздействии химического и радиационного факторов применительно к орбитальным и межпланетным пилотируемым космическим полетам», «Разработка научных основ и методов мониторинга воздействий космофизических, геофизических и радиационных факторов на живые системы», «К оценке вероятности образования нестабильных хромосомных aberrаций в лимфоцитах периферической крови».

На секции «Проблемы жизнеобеспечения и обитаемости в космических полетах» прозвучали доклады: «Регенерационное водообеспечение при длительных космических полетах: история, современное состояние, перспективы», «Перспективы регенерационных систем обеспечения газового состава для экипажа обитаемых космических станций», «Система обеспечения питанием для длительных космических экспедиций», «Расширение возможностей применения системы автоматизированного анализа микробного статуса человека», «Современные проблемы создания автотрофного звена перспективных систем жизнеобеспечения космических экипажей», «Исследование эффективной системы управления жизнеобеспечением экипажа космической экспедиции», «Российская система генерации кислорода «Электрон-ВМ» на борту МКС», «Перспективы применения овощных оранжерей в системах жизнеобеспечения экипажей орбитальных и планетных станций», «Перспективы изучения потребления белья и одежды для условий межпланетных полетов».

На секции «Физиология сенсомоторной системы» были заслушаны доклады: «Гравитационные механизмы зрительного и зрительно-мануального слежения», «Деафферентация и изменение коммутации структур мозга в невесомости», «Болезнь движения. Выбор экспериментальных моделей», «Sensorimotor assessment and rehabilitation apparatus (SARA): a portable device for rapid evaluation of sensorimotor function», «Влияние сухой иммерсии на возбудимость α -мотонейронов икроножной мышцы голени человека», «Особенности активации зон коры головного мозга при стимуляции

опорной афферентации», «SVETA: an international network for the study of the influence of the vestibular system on cognition and vegetative regulations».

На секции «Метаболизм в экстремальных условиях» обсуждались доклады: «Референтные значения диагностически значимых биохимических показателей крови у российских космонавтов», «Исследование функционального состояния печени в экспериментах, моделирующих гемодинамические изменения, возникающие в невесомости в организме человека», «Инъекция дексаметазона меняет реакцию карбогидраз тонкой кишки крыс на стресс», «Особенности белкового состава мочи у испытуемых в динамике эксперимента с 5-суточной иммерсией», «Определение риска развития проявлений метаболического синдрома у лиц с разной степенью выраженности инсулинорезистентности, работающих в экстремальных условиях», «Изменение белковой композиции мочи космонавтов после продолжительных орбитальных полетов», «Плазматические индикаторы активации механизмов острофазного ответа на ранних стадиях адаптации к гипогравитации».

На секции «Радиационно-физические проблемы обеспечения безопасности экипажей Международной космической станции» были заслушаны доклады: «Радиационная безопасность пилотируемого транспортного корабля», «Некоторые результаты статистического анализа динамики дозовых полей ионизирующих излучений в служебном модуле МКС за 2000–2012 годы», «Учет влияния анизотропии потока протонов в области южно-атлантической аномалии на дозу облучения космонавтов», «Основные результаты, полученные в ходе эксплуатации системы радиационного контроля на служебном модуле международной космической станции», «Результаты измерения дозы нейтронов внутри российского сегмента МКС в эксперименте «Матрешка-Р» с использованием пузырьковых детекторов», «Трехосный дозиметрический телескоп «Тритель» для измерения биологически значимых характеристик ионизирующих излучений на российском сегменте МКС», «Экспериментальное исследование распределения дозы в теле космонавта на борту орбитальной станции с использованием тканезквивалентных фантомов», «Дозиметрический контроль на МКС и ПТК».

Кроме секционных заседаний были проведены также круглые столы: «Предварительные итоги полетных экспериментов и послеполетных исследований по проекту «Бион-М1». Перспективы дальнейших исследований в полетах автоматических космических аппаратов» (ведущий В.Н. Сычев) и «Влияние гипомангнитной среды на организм» (ведущий О.И. Орлов).

Таким образом, как видно из представленного материала, в течение этих двух дней на международной конференции, посвященной 50-летию ИМБГ, ведущими учеными разных стран (поскольку в конференции принимали участие также специалисты из Бельгии,

Венгрии, Германии, Казахстана, США, Украины, Франции, Чехии) были рассмотрены практически все новые результаты, полученные в области космической биологии, физиологии и медицины за последние годы.

Успешному проведению этой конференции способствовала и работа, проделанная как программным комитетом, руководимым А.И. Григорьевым, И.Б. Ушаковым, О.И. Орловым и Е.А. Ильиным, так и организационным комитетом под руководством А.Н. Романова, М.С. Белаковского и С.Л. Денисова.

Применительно же к выставочной экспозиции, развернутой в фойе большого концертного зала РАН перед началом работы конференции, следует отметить, что в рамках юбилейных мероприятий ИМБП большая выставка, приуроченная к 50-летию ИМБП, в марте 2013 г. была развернута также в Музее Первого полета на родине первого космонавта Земли Ю.А. Гагарина, в городе, который носит теперь его имя – «Гагарин». Кроме того, в юбилейном году свои достижения ИМБП демонстрировал на 41-м Международном салоне «Изобретения, Женева, 2013» (10–14 апреля 2013 г., Женева, Швейцария), 6-й Международной выставке-форуме женщин-изобретателей «KIWIE – 2012» (1–4 мая 2013 г., Сеул, Республика Корея), 112-м Международном салоне изобретений «Конкурс Лепин» (30 апреля – 12 мая 2013 г., Париж, Франция), 24-й Международной Харбинской торгово-промышленной ярмарке КНР (15–19 июня 2013 г., Харбин, Китай), выставке «VIII Фестиваль науки» (11–13 октября 2013 г., Москва), выставке «Электронная Москва» (13 ноября 2013 г. – 26 января 2014 г., Москва), выставке «Здравоохранение – 2013» (9–13 декабря 2013 г., Москва).

В рамках подготовки и празднования этого Юбилея все 6 номеров журнала «Авиакосмическая и экологическая медицина», учредителем и издателем которого является ИМБП, были выпущены с логотипом «50 лет Институту медико-биологических проблем». В № 4 были размещены материалы вышеописанной конференции.

К Юбилею были изданы книги: «Институт медико-биологических проблем: полвека на службе

науке и человеку в Космосе и на Земле» (отв. ред. А.И. Григорьев, И.Б. Ушаков), «Космическая медицина и биология: сборник научных статей (под ред. А.И. Григорьева, И.Б. Ушакова), «Космический альманах. Юбилейный выпуск (№ 15)» (Авторы-соавт. А.И. Григорьев, И.Б. Ушаков, В.В. Круговых, Е.А. Ильин), «Космическая радиобиология за 55 лет» (Ю.Г. Григорьев, И.Б. Ушаков, Е.А. Красавин, Б.М. Давыдов, А.В. Шафиркин), «Анатолий Иванович Григорьев» (И.Б. Ушаков, А.Н. Потапов, С.О. Николаев); брошюры: «Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук» (М.С. Белаковский, И.П. Пономарева, О.В. Волошин), «История ИМБП в фотографиях, 5-е десятилетие (2004–2013 гг.)» (М.С. Белаковский, И.П. Пономарева, О.В. Волошин), буклеты: «50 лет ГНЦ РФ – Институту медико-биологических проблем РАН, 1963–2013 гг.» и «Научный проект «Бион-М1»».

С символикой Института и логотипом «ИМБП 50 лет» были также выпущены: настенные календари-плакаты на 2013 г., настенные квартальные календари на 2013 г., карманные календари на 2013 г., значки, блокноты, шариковые ручки, магниты, наклейки, пакеты и портфели.

Таким образом, как видно из представленного материала, к своему 50-летию ИМБП удалось подготовить и реализовать целый комплекс мероприятий, ярко продемонстрировавших всю грандиозность работы, выполненной сотрудниками Института за этот период. Следствием этой работы стало создание самой совершенной в мире системы медицинского обеспечения космических полетов, а Благодарность Президента Российской Федерации В.В. Путина от 2 февраля 2013 г. № 29-рп подтвердила выдающийся вклад сотрудников ИМБП в создание основ и всестороннее развитие теоретических и практических аспектов таких наук, как космическая биология, космическая физиология и космическая медицина.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Рецензируемый научно-практический журнал «Авиакосмическая и экологическая медицина» принимает экспериментальные и теоретические работы отечественных и зарубежных авторов по актуальным проблемам авиационной, космической, морской, водолазной, спортивной и экологической физиологии и медицины. Основные рубрики журнала: «Обзоры», «Экспериментальные и общетеоретические исследования», «Клинические исследования», «Методики», «Краткие сообщения», «Дискуссии», «Письма в редакцию», «Рецензии», «Из истории космической биологии и авиакосмической медицины», «Хроника и информация». Издание осуществляется на безгонорарной основе.

2. В редакцию на имя ответственного секретаря необходимо прислать 2 экземпляра статьи на бумажном носителе с сопроводительным письмом. Если статья представляет собой фрагмент диссертации, это следует указать в письме. Текст статьи должен быть напечатан (шрифт 12 пунктов) на русском или английском (только для иностранных авторов) языке на одной стороне листа формата А4 с двойным интервалом между строками и полями слева шириной 3,5 см.

Один экземпляр статьи должен быть подписан всеми авторами с указанием их имен и отчеств, электронного адреса и телефона автора, с которым следует вести переписку.

Электронная версия (шрифт Times New Roman, Ariel или Tahoma – простой, 12 пунктов; текстовый редактор Word с

расширением doc), а также отсканированная копия письма с подтверждением согласия соавторов из зарубежных стран на публикацию присылается по электронной почте shipov3838@mail.ru; можно использовать CD. Электронная версия должна соответствовать тексту статьи, присылаемой на бумажном носителе.

3. При представлении результатов экспериментальных исследований на животных необходимо указывать вид животных, их пол, возраст и количество, тип и дозировку применявшегося обезболивания, методы иммобилизации и эвтаназии, ссылку на решение местной или отраслевой комиссии по биоэтике, одобряющее проведение данного исследования. Если программа экспериментов не представлялась в комиссию по биоэтике, автор должен написать, что исследование проводилось в соответствии с требованиями гуманного содержания и обращения с животными. В работах, содержащих результаты исследований (испытаний) на человеке, следует указать меры, обеспечивающие безопасность данного исследования (испытания) и ссылку на решение комиссии по биомедицинской этике.

4. Объем передовых, обзорных, проблемных, итоговых и дискуссионных статей не должен превышать 25 страниц, экспериментальных и общетеоретических исследований – 15 страниц. В этот объем входят текст, иллюстрации (фотографии и рисунки – не более 4 простых или 1–2 сложных – комбинаций из 2 простых), таблицы (не более 3) и список литературы. Объем кратких сообщений – не более 4 страниц, как правило, без рисунков и таблиц.

5. Схема построения статьи: название статьи, инициалы и фамилии авторов, учреждение, город, страна (указываются для каждого из авторов), реферат, **ключевые слова**, краткое введение, методика, результаты и обсуждение, **выводы**, список литературы. **Перед названием статьи обязательно ставится индекс УДК.**

6. Реферат, объемом не более 2/3 страницы, должен обеспечить понимание главных положений статьи. Составляется реферат по следующей схеме: тема, объекты исследований, характер и цель работы; методики, использованные в работе (в тех случаях, когда они новые или необходимы для понимания сути и особенностей содержания статьи); основные теоретические и экспериментальные результаты работы. Реферат переводится на английский язык в редакции.

7. В тексте допускается сокращение часто встречающихся терминов и понятий по начальным буквам входящих в них слов, если при первом упоминании приведено полное название. После числовых значений единицы измерения сокращаются (1 нед, 1 сут, 1 ч, 1 мин, 1 с и т.п.).

8. Иллюстрации (фотографии, рисунки) должны быть черно-белыми, шириной не более 17 см (сложные рисунки – 17 x 22 см), фотографии высококонтрастные, с указанием низа и верха. Цифровые и текстовые обозначения делаются не жирным шрифтом Times, крупно и четко. В комбинациях рисунков каждый из них обозначается прописными буквами (А, Б, В, Г) в левом нижнем углу. Столбики графиков должны иметь штриховую заливку. Распечатанный экземпляр иллюстраций (фотографии, рисунки) должен быть идентичен электронному по качеству, увеличению и размерам. В электронной версии под каждым рисунком должен быть проставлен его номер.

Рисунки не должны быть перегружены надписями. На статистических кривых необходимо графически показать ошибки средних арифметических.

Подписи к рисункам и фотографиям даются на отдельном листе. В подрисуночных подписях приводятся название рисунка и объяснение значений всех кривых, букв, цифр и других условных обозначений. В подписях к микрофотографиям указывают метод окраски и увеличение.

9. Таблицы должны быть компактными (шириной не более 17 см), напечатаны на отдельных листах, иметь заголовки и последовательную порядковую нумерацию.

Дублирование данных в тексте, таблицах и на рисунках недопустимо.

Если таблица или рисунок один, то номер не присваивается.

10. При выборе единиц измерения рекомендуется придерживаться международной системы единиц СИ.

11. Формулы нумеруются арабскими цифрами. Номер формулы заключается в круглые скобки и ставится у правого края. Желательно нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

12. В оригинальных статьях цитируется не более 20 источников, в передовых статьях и обзорах литературы – не более 50. **Ссылки на публикации авторов статьи (самоцитирование) должны составлять не более 15 процентов от общего списка.** Автор несет ответственность за правильность библиографических данных. На электронный документ или сетевой ресурс следует ссылаться, если нет его печатного аналога.

Список литературы составляется путем сквозной нумерации цитируемых источников в соответствии с порядком упоминания их в тексте. Ссылки в тексте на цитируемую литературу даются в квадратных скобках. Список приводится на отдельной странице и оформляется следующим образом:

– если цитируется несколько работ одного автора, их располагают в хронологическом порядке; статья, написанная коллективом авторов (более 4 человек), помещается в списке литературы по фамилии первого автора, при этом указываются еще 2 автора, а далее ставится и др. Если авторов всего 4, то указываются все авторы;

– ссылки на статьи из журналов или сборников оформляются так: автор, название статьи, 2 косые линейки (//), наименование журнала или сборника, 1 косая линейка (/), редактор, место изд., год, том, номера страниц от и до. Все элементы отделяются друг от друга точкой (например, *Гущин В.И. Проблемы дистанционного общения изолированных групп // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 5. С. 39–46. или Омеляненко Н.П., Слуцкий Л.И. Соединительная ткань (гистофизиология и биохимия) / С.П.Миронов, ред. Т. 1. М., 2009.*);

- при ссылке на монографию указываются фамилия автора (или авторов, если их не более 4), название, место издания, год (например, *Артемова Е.Ю. Основы психологии субъективной семантики. М., 1999.*);
- монография, написанная коллективом авторов (более 4 человек), помещается в списке по заглавию книги (например, *Сезонная динамика физиологических функций человека / Е.Р. Бойко, ред. Екатеринбург, 2009.*);
- если у издания нет автора, но указаны редакторы, составители и переводчики, то описание начинается с заглавия. За косой чертой после заглавия пишутся редакторы, составители и т.п. с указанием их функций (например, *Логопедия: учебник для студ. дефектол. фак. пед. вузов / Л.С. Волкова, С.М. Шаховская, ред. 3-е изд. перераб. и доп. М., 2002.*);
- в монографиях иностранных авторов, изданных на русском языке, после названия книги через двоеточие указывается, с какого языка сделан перевод;
- в многотомных изданиях указывается общее количество томов;
- если заглавие источника состоит из нескольких предложений, то все они разделяются двоеточием;
- в общий список литературы в порядке цитирования включаются электронные ресурсы и оформляются следующим образом (см. ГОСТ 7.82-2001).

Примеры библиографического описания электронного документа, находящегося на физическом носителе (локальный электронный документ, в том числе CD-ROM):

Художественная энциклопедия зарубежного классического искусства [Электронный ресурс]. М., 1996. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Сидыганов В.У., Толмачев С.Ю., Цыганков Ю.Э. Модель Москвы [Электронный ресурс]: электрон, карта Москвы и Подмосковья / Версия 2.0. Электрон, дан. и прогн. М., 1998. (CD-ROM);

Примеры библиографического описания сетевых ресурсов (распространяемых через Интернет, размещенных на каком-либо сайте и имеющих сетевой адрес):

Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе [Электронный ресурс] // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4.

URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2012).

Катанов Николай Федорович [Электронный ресурс]: биографический указатель // Хронос: всемирная история в Интернете / ред. В. Б. Румянцев. URL: http://hrono.ru/biograf/bio_k/katanov_nf.html (дата обращения: 12.01.12).

В конце ставится дата обращения к документу.

В соответствии со стандартом ISO 26324:2012 для цифровых изданий необходимо указывать идентификатор цифрового объекта (DOI – digital object identifier) – стандарт обозначения представленной в сети информации об объекте.

В списке литературы под источниками на русском языке помещаются их переводы на английский язык. При этом названия журналов должны быть не переведены, а транслитерированы.

Пример:

1. Каминский Л.С. Статистическая обработка лабораторных и клинических данных. Л., 1964.

Kaminsky L.S. Statistical treatment of laboratory and clinical data. Leningrad, 1964.

2. Катунцев В.П., Осипов Ю.Ю., Гноевая Н.К. и др. Медицинское обеспечение внекорабельной деятельности космонавтов (Гл. 12) // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. В 2 т. Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. М., 2001. С. 482–499.

Katunstev V.P., Osipov Yu.Yu., Gnoievaya N.K. et al. Medical support to extravehicular activity of cosmonauts (Ch. 12) // Orbital station «Mir». Space biology and medicine. In 2 volumes. V. 1. Medical support of long-term missions. M., 2001. P. 482–499.

3. Виноходова А.Г., Быстрицкая А.Ф., Смирнова Т.М. Способность к психической саморегуляции как фактор устойчивости к стрессу в экстремальных условиях космического полета // Авиакосм. и экол. мед. 2005. Т. 39. № 5. С. 14–18.

Vinokhodova A.G., Bystritskaya A.F., Smirnova T.M. Ability to control own psyche as a factor of stress tolerance in the extreme conditions of space flight // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2005. V. 39. № 5. P. 14–18.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

13. Редакция оставляет за собой право сокращать и исправлять принятые работы.

Статьи, отосланные авторам для исправления, должны быть возвращены в редакцию не позднее, чем через месяц в виде исправленной электронной версии с приложением ответа авторов рецензенту. Датой поступления считается дата получения редакцией окончательного варианта рукописи.

14. Представление в редакцию работ, которые уже опубликованы в других изданиях или посланы для публикации в другие издательства, не допускается. Статьи, принятые редакцией, не могут быть опубликованы в других изданиях без письменного разрешения издателя журнала «Авиакосмическая и экологическая медицина».

15. Решение об одобрении или отклонении представленного в редакцию материала принимается редакционной коллегией и является окончательным.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, редакция и издатель ответственности не несут.

16. Справки по всем вопросам, связанным с публикацией статей, можно получить у отв. секретаря.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

1. The peer-reviewed scientific and applied journal *Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina* accepts experimental and theoretical papers from the national and international authors on topical issues of aviation, space, marine, diving, sport and ecological physiology and medicine. The main journal headings are Reviews, Experimental and theoretical research, Clinical investigations, Methods, Short communications, Discussion, Letter to the editor, Commentary, History of space biology and aerospace medicine, News and announcements. The publication does not charge fee from the authors.

2. Two hard copies of a paper with a cover letter must be sent to the Editorial office address. If the paper is a piece of thesis, please state it in the letter. The manuscript in the Russian or English language (by the foreign authors only) must be printed in a 12-point font with the double spacing and 3.5 cm left margin on only one side of the A4 size paper.

One copy must be signed by all authors, contain their full names, and e-mail and phone number of the author for corresponding.

The electronic version (12-point ordinary Times New Roman, Arial or Tahoma; Word.doc) and a scan of the letter confirming that the international authors agree to publication must be sent to shipov3838@mail.ru; CD can be used also. The e-version must contain the text identical to that submitted as a hard copy.

3. A report on the results of experimental investigations with animals must specify species, sex, age and number of animals, anaesthetic and dosage, methods of immobilization and euthanasia, and provide reference to the approval protocol of a local or institutional review board. If the program of experiments has not been submitted to the IRB, the author must write that the investigation has been conducted in compliance with the standards for humane handling and treatment of animals. Papers presenting the results of studies (testing) with humans should mention measures ensuring safety of studies (testing) and provide reference to the IRB approval.

4. Length of editorials, reviews, speculative or debatable articles must not exceed 25 pages and of paper on experimental and theoretical studies – 15 pages. This includes text, figures (no more than 4 single photos or diagrams, or 1-2 blocks of two single ones), tables (maximum 3) and a list of references. Short communication occupies no more than 4 pages and has no figures and tables, as a rule.

5. The structure of an article comprises title, name of each author, all authors' affiliations, city and country, abstract, key words, short introduction, methods, results and discussion, conclusion, list of references. The UDC code must be placed before the title.

6. An abstract of no more than 2/3 of a page should provide understanding of the major points of an article. The abstract scheme includes definitions of the topic, object, character and purpose of an investigation; methods if they have never been published or their description is necessary for grasping the substance of the article content; main theoretical and experimental results.

7. In the text, frequently used terms and phrases may be abbreviated to the initial letters of a series of composing words provided they are introduced following the complete term or phrase. Unit measures should be abbreviated.

8. Figures (photos, diagrams) must be black-and-white and no wider than 17 cm (composite figures – 17 x 22 cm); photos must be high-contrast with indication of the top and bottom. Digits and text must be typed in the normal Tahoma font, large and legible. Within a composite figure, each part must be designated by capital letters (*A, B, C, D*) in the left bottom corner. Bars must be dashed. A hard copy of the figures (photos, diagrams) must be equal to electronic in quality, magnification and size. In the electronic version, each figure must be numbered below.

Figures should not abound in words. Statistical curves should show graphically the arithmetic mean errors.

Legends must be submitted separately from the figures. Figure legends provide a brief title and a short description of all curves, letters, numbers and other symbols. Legends to micro photos should specify the filling and magnification.

9. Tables must be compact (no wider than 17 cm), printed on separate pages, have titles and serial numbering.

Avoid data duplication in the text, tables and figures.

If there is only one table or figure, it is not numbered.

10. *The choice of measure units from the SI system is recommended.*

11. Equations should be awarded the Arabic numerals. The equation number is enclosed in parentheses and placed at the right-hand margin. It is advised to award numbers to only those equations which are referred to.

12. Original articles are limited by citation of 20 sources at most; editorial and review articles may refer to the maximum of 50 sources. References to the author's publications (self-citation) may constitute no more than 15% of the overall list. The author is responsible for veracity of the referenced literature. An electronic document or resource should be referenced if it has no paper publication.

In the reference list, sources are numbered sequentially in the order in which they appear in the article. In the text, references to cited publications are included in square brackets. The reference list is submitted on a separate page and prepared in the next format:

– references to two and more papers by the same author should be listed in the chronological order; papers with multiple authors (4 or more) should be listed by the first author; names of the next two authors should also be given and followed by 'et al.'. In the case of 4 authors, each author should be included;

- references to articles in journals or proceedings are formatted as follows: author, title, 2 slashes (/), title of a journal or proceedings, slash (/), editor and city of publication, year, volume, page numbers. All elements are separated by periods (e.g., *Gushchin V.I. Problems of the remote communication between isolated groups // Fiziologiya cheloveka. 2003. V. 29. № 5. P. 39–46.* or *Omel'yanenko N.P., Slutski L.I. The connective tissue (histophysiology and biochemistry) / S.P. Mironov, ed. V. 1. M., 2009.*);
- references to monographs should provide the author's surname (or surnames of the authors if their number is no more than 4), title, city of publication, year (e.g., *Artemieva E.Yu. The fundamentals of subjective semantics psychology. M., 1999.*);
- monographs written by multiple authors (more than 4) are included in the reference list by the title of a book (e.g., *Seasonal dynamics of the human physiological functions / E.R. Boiko, ed. Ekaterinbourg, 2009.*);
- if no author is given but there are names of editors, compilers and translators, reference should begin with the title. Names and functions of the editor/compiler/translator should be placed after slash (e.g., *Logopedia: Textbook for speech pathology students of Teacher schools / L.S. Volkova, S.M. Shakhovskaya, ed. 3rd ed. rev. and ad. M., 2002.*);
- in the case of a many-volumed publication the total number of volumes must be cited;
- when a source title consists of several sentences, they all should be separated by colons;
- electronic resources must be cited in the total reference list in the order of appearance. Below are several examples of how to format reference to an e-document on a physical carrier (local e-document, including CD-ROM):

Artistic encyclopedia of the foreign classic art [electronic resource]. M., 1996. electron-optic disk (CD-ROM).

Sidygalov V.U., Tolmachev S.Yu., Tsygankov Yu.E. The model of Moscow [electronic resource]: electron, map of Moscow and Moscow area / Version 2.0. Electron, data and software. M., 1998. (CD-ROM);

Examples of the online references (posted on the Internet, a website and having a network address):

Belous N.A. Pragmatic implementation of communication strategies in a conflict discourse [Electronic resource] // World of linguistics and communication: el. sci. journ. 2006. № 4.

URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (access date: 15.12.2012).

Katanov Nikolai Fedorovich [electronic resource]: biographic index // Cronos: world history in the Internet / ed. V.B. Rumiantsev. URL: http://hrono.ru/biograf/bio_k/katanov_nf.html (access date: 12.01.12).

Date of access must be cited at the end of the reference.

According to ISO 26324:2012 for digital publications, it is necessary to specify the digital object identifier (DOI) providing information about the object content.

References to unpublished papers are not permitted.

13. The editors reserve the right to abridge and edit the papers accepted for publication.

Manuscripts returned to the authors for revision must be resubmitted electronically within a month with the authors' answers to the reviewer enclosed. *The day of submission is the day when the Editorial office received the final version.*

14. Submission of papers that have been already published or sent for publication elsewhere is not permitted. Papers accepted by the Editorial office cannot be published elsewhere unless permitted in writing by the publisher of *Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina*.

15. The decision to accept or decline a manuscript submitted for publication is taken by the Editorial board and final.

Veracity of the information provided in a paper is not the responsibility of the Editorial board or publisher.

16. Contact the Editorial office for getting answers to any questions about publication of your paper in the journal.

Редколлегия журнала сердечно поздравляет
с юбилейными датами ведущих специалистов
в области космической медицины и биологии,
сотрудников ИМБП:

Корнилову Людмилу Николаевну

Крамаренко Раису Ивановну

Мойсу Светлану Степановну

Самарина Георгия Ивановича

Сидоренко Лидию Афанасьевну

Соколова Геннадия Михайловича

Фомину Елену Валентиновну

Цетлина Владимира Владимировича

Шумилину Галину Аркадьевну

Добрые Вам пожелания и плодотворного сотрудничества
с нашим журналом!