

АВИАКОСМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

AVIAKOSMICHESKAYA I EKOLOGICHESKAYA MEDITSINA

НАУЧНЫЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC PERIODIC JOURNAL

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Орлов О.И., д.м.н., 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.б.н., профессор
Дьяченко А.И., д.т.н., профессор
Ерофеева Л.М., д.б.н., профессор
Иванов И.В., д.м.н., профессор
Ильин Е.А., д.м.н., профессор – заместитель главного редактора
Котов О.В., к.м.н.
Красавин Е.А., к.м.н., д.б.н., профессор, член-корреспондент РАН
Меденков А.А., к.психол.н., д.м.н., профессор
Синяк Ю.Е., к.х.н., д.т.н., профессор
Сорокин О.Г., к.м.н.
Суворов А.В., д.м.н., профессор
Усов В.М., д.м.н., профессор
Хоменко М.Н., д.м.н., профессор
Mukai Ch., M.D., Ph.D. (Japan)
Sutton J., M.D., Ph.D. (USA)
Suchet L.G., 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
Жданько 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)
Макашев Е.К., д.б.н., профессор, член-корреспондент АН РК (Казахстан)
Gerzer R., M.D., Ph.D., professor (Germany)
Gharib C., Ph.D., professor (France)
Yinghui Li, M.D., Ph.D., professor (China)

2018 Т. 52 № 4

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»,
с 1991 г. по настоящее время – «Авиакосмическая и экологическая 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, 2018
© State Research Center RF – Institute of Biomedical Problems Russian Academy of Sciences, 2018

Все права зарегистрированы. Никакая часть журнала не может быть воспроизведена
каким-либо способом без письменного разрешения Издателя
All rights reserved. No part of this journal may be reproduced in any form by any means without
written permission of the Editorial Board

**Метаданные статей, опубликованных в журнале, доступны в базе данных РИНЦ
(www.elibrary.ru) и на сайте журнала journal.imbp.ru**

Выпускающий редактор О.Г. Сорокин
Редакторы: С.О. Николаев, 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) 195-68-74, факс: 8 (499) 195-22-53, эл. почта: library@imbp.ru
Секретарь: Муромцева Т.С., тел.: 8 (499) 195-65-12, эл. почта: arhiv@imbp.ru

Сдано в набор 12.07.2018
Подписано в печать 23.07.2018
Формат 60 × 84 1/8
Гарнитура Tahoma
Печать офсетная
Усл. печ. л. 9,06
Тираж 200 экз
Заказ № 190

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

Содержание

Contents

Обзоры

Reviews

Гущин В.И., Виноходова А.Г., Комиссарова Д.В.,
Белаковский М.С., Орлов О.И. Эксперименты с
изоляцией: прошлое, настоящее, будущее 5

Gushchin V.I., Vinokhodova A.G., Komissarova D.V.,
Belakovsky M.S., Orlov O.I. Experiments with
isolation: the past, present and future

Лукичёва Н.А., Кабицкая О.Е., Васильева Г.Ю.,
Сычев В.Н. *Danio rerio* в качестве модели для
научного исследования 17

Lukicheva N.A., Kabitskaya O.E., Vasilieva G.Yu.,
Sychev V.N. *Danio rerio* as a model for research

Экспериментальные и общетеоретические исследования

Experimental and Theoretical Investigations

Переведенцев О.В., Орлов О.И., Леванов В.М. 24
К вопросу о разработке интеллектуальных ком-
понентов системы поддержки принятия решения
для медицинского обеспечения межпланетных
пилотируемых космических полетов

Perevedentsev O.V., Orlov O.I., Levanov V.M. On
the development of intellectual components of a
decision support system for medical care in manned
space exploration missions

Файхтингер Е.Л. Организация общения изоли- 28
рованного международного экипажа с внешними
абонентами для оптимизации психологической
поддержки

Feichtinger E.L. Organization of communications
between isolated multinational crew and external
callers towards the psychological support optimiza-
tion

Потапов М.Г., Васин А.В., Скедина М.А., 34
Ковалева А.А. Санаторно-курортный этап реабил-
итации космонавтов после космических полетов
на МКС – современное состояние вопроса

Potapov M.G., Vasin A.V., Skedina M.A.,
Kovaleva A.A. Spa- and health-resort-based
rehabilitation of cosmonauts after space missions to
the ISS: current status

Ерофеева Л.М. Морфофункциональная харак- 39
теристика околоушной слюнной железы монголь-
ских песчанок после полета на борту космическо-
го аппарата «Фотон-М3»

Erofeeva L.M. Morphofunctional properties of the
parotid gland of Mongolian gerbils after the flight
aboard space apparatus «Foton-M3»

Дадашева О.А., Гурьева Т.С., Грушина О.А., 44
Медникова Е.И., Сычев В.Н. Исследование влия-
ния факторов космического полета на органы
равновесия у рыб *Danio rerio*

Dadasheva O.A., Gurieva T.S., Grushina O.A.,
Mednikova E.I., Sychev V.N. Investigation of the
effect of spaceflight factors on equilibrium organs of
fish *Danio rerio*

Попова И.И., Орлов О.И., Ревякин Ю.Г., 50
Богославский В.Е. Исследование методов автома-
тизации получения медицинских изображений в
условиях длительной изоляции

Popova I.I., Orlov O.I., Revyakin Yu.G.,
Bogoslavsky V.E. Evaluation of methods automating
medical image acquisition in the conditions of
extended isolation

Ждaнькo И.М., Блaгинин A.A., Чистoв С.Д., Ляшeдькo С.П. Aнaлиз aвиaциoнных пpoисшeствий пo пpичинe нapyшeния пpocтpaнcтвeннoй oриeнтиpoвки и иллyзий пpocтpaнcтвeннoгo пoлoжeния зa пepиoд 2009–2013 гг.

55 Zhdanko I.M., Blaguinin A.A., Chistov S.D., Lyashedko S.P. Analysis of aviation accidents in consequence of spatial disorientation and positional illusions over the period of 2009–2013

Пaщeнкo П.С., Плaхoв Н.Н., Бyйнoв Л.Г. Oцeнкa coдepжaния гликoгeнa и липидoв в нeйтpoфильных лeйкoцитax пepифepичecкoй кpoви пpи дoнoзoлoгичecкoй диaгнoстикe y лeтнoгo coстaвa

61 Pashchenko P.S., Plakhov N.N., Buynov L.G. Assessment of glycogen and lipid contents in neutrophil leukocytes of peripheral blood during prenosological diagnostics of flight personnel

Бyйнoв Л.Г., Сopoкинa Л.А., Блaгинин A.A., Кpаснoв A.A. Иccлeдoвaниe эффeктивнocти кypcoвoгo пpимeнeния кoртeксинa и тpeниpoвoк мьшц шeи в пoвышeнии cтaтoкинeтичecкoй ycтoйчивocти чeлoвeкa

66 Buynov L.G., Sorokina L.A., Blaguinin A.A., Krasnov A.A. Testing effectiveness of the cortexin course and neck muscles training for improvement of human statokinetic stability

Ляxoвa К.Н., Ивaнoв A.A., Мoлoкaнoв A.Г., Сeвepюхин Ю.С., Утинa Д.М., Кpacaвин E.A. Влияниe нeйpoпeптидa Сeмaкс нa пoкaзaтeли пoвeдeнчecкoй иccлeдoвaтeльcкoй peaкции и cилy cкeлeтнoй мyскyлaтyры мьшeй, oблyчeнных пpoтoнaми

71 Lyakhova K.N., Ivanov A.A., Molokanov A.G., Severyukhin Yu.S., Utina D.M., Krasavin E.A. Effect of neuropeptide Semax on the exploratory behavior reaction and strength of skeletal musculature of proton-irradiated mice

ОБЗОРЫ

УДК 159.9:629.78:613.693:001.891.57

ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ИЗОЛЯЦИЕЙ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

Гущин В.И., Виноходова А.Г., Комиссарова Д.В., Белаковский М.С., Орлов О.И.

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

E-mail: vgushin57@imbp.ru

Представлен обзор экспериментов с длительной изоляцией малочисленной группы добровольцев в замкнутом объекте с управляемой средой обитания. Обосновывается необходимость проведения таких исследований для решения задач медико-биологического обеспечения реальных космических полетов, а также разработки проблем перспективных автономных полетов к другим планетам. Представлено описание сценариев, целей, задач и основных результатов экспериментов с длительной изоляцией, проводимых в наземном экспериментальном комплексе Института медико-биологических проблем начиная с 60-х годов прошлого века, а также серии перспективных модельных экспериментов по программе «Сириус». Изложены основополагающие принципы организации подобных проектов для обеспечения их успеха и получения значимых научных результатов.

Ключевые слова: космический полет, аналоговые исследования, сценарий эксперимента, экипаж, изоляция, гермообъект, управляемая среда, автономность.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 4. С. 5–16.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-5-16

Необходимость проведения аналоговых космических экспериментов

Организация и проведение наземных экспериментальных исследований в изоляции с участием испытуемых-добровольцев являются необходимым условием решения проблем медико-биологического обеспечения длительной пилотируемой экспедиции. Известно, что в космическом полете (КП) на здоровье членов экипажа действует множество неблагоприятных факторов (риск для жизни и здоровья, ограничения общения, изоляция, замкнутое и ограниченное в объеме пространство, высокий уровень профессиональных нагрузок, монотония и т.д.), оказывающих существенное влияние на психофизиологическую работоспособность космонавта, групповую динамику и взаимодействие экипажа с наземными службами [1–5]. Поэтому с первых полетов человека в космос была актуальна задача сохранения эффективности деятельности и оптимального психологического состояния космонавтов.

Однако изучение особенностей реагирования организма на длительное воздействие вышеупомянутых космических факторов риска в условиях реального КП затруднено. Это обусловлено дефицитом времени на проведение биомедицинских исследований, ограничениями по массе и габаритам, затрудняющим доставку на борт необходимой для исследований аппаратуры и оборудования. Кроме того, уникальность программы каждой экспедиции, выполняемых в ее рамках полетных операций, а также вариативность состояния бортовой логистики вносят в измерения так называемый шум, мешающий вычленивать эффект изучаемых переменных. Поэтому исследователи в разных странах осознали необходимость организации аналоговых исследований по моделированию специфических неблагоприятных условий КП с помощью различных замкнутых объектов как искусственного типа (например, гипербарические камеры), так и естественных изолированных обитаемых комплексов (например, подводных, полярных и высокогорных). Преимуществами наземных моделей КП следует считать:

- возможность использования на Земле более широкого по сравнению с пилотируемым КП спектра научной аппаратуры и оборудования;
- отсутствие дефицита времени на проведение исследований;
- большая по сравнению с реальным полетом статистическая выборка;
- возможность контролировать большинство переменных, значимо влияющих на здоровье и психическое состояние обследуемых;
- возможность проведения предварительных испытаний новых методов, аппаратуры и оборудования.

В рамках реализации этих преимуществ для изучения медицинских, психологических, эргономических, технологических и других проблем обеспечения пилотируемой космонавтики было разработано и проведено множество экспериментов, воспроизводящих различные условия, действующие на космонавтов во время полета. Условно они могут быть разделены на модели, использующие в качестве

ключевого фактора гипогравитацию (параболические полеты, антиортостатические исследования, иммерсия), и эксперименты, моделирующие неблагоприятные психофизиологические факторы длительного полета, такие, как изоляция, сенсорная депривация, монотония и ограничение социальных контактов. Эта группа моделей может быть поделена на натурные эксперименты, когда человек выполняет реальную деятельность в естественной природной среде и где к вышеописанному набору факторов добавляются риск для жизни и здоровья и полунатурные исследования в гермокамерах ограниченного объема с управляемой искусственной средой обитания.

Натурные эксперименты были проведены в период с 1966 по 1972 г. сотрудниками института во время 6 годовых зимовок на станции «Восток» в Антарктиде. Станция расположена на расстоянии 1253 км от Южного географического полюса Земли на ледниковом куполе на высоте 3488 м в условиях среднегодовой температуры $-55,4^{\circ}\text{C}$. Неблагоприятными факторами зимовки являются изоляция, длительная автономность существования и невозможность оказания помощи извне в течение 9 мес, монотонность, гипокинезия, измененный световой режим дня и ночи (полярный день и полярная ночь по 4 мес), постоянно действующая гипоксия, небольшой по численности коллектив (12–16 человек). Проведенные исследования показали, что за время годовой зимовки на станции «Восток» не происходит полной адаптации организма к перечисленным экстремальным условиям. При этом адаптация может сопровождаться возникновением заболеваний психоневрогенного происхождения (гипертоническая и язвенные болезни, дерматит, депрессивный синдром, неврастения). Полученные результаты были учтены при медицинском обосновании возможности длительных (до года) полетов человека в космос [6].

Эксперименты с изоляцией экипажей в гермокамерах с управляемой средой обитания

Модель с изоляцией экипажа в ограниченных по объему герметично замкнутых объектах была принята наиболее адекватной для изучения социально-психологических и психофизиологических факторов, воздействующих на космический экипаж. Ее преимуществами являются:

1) возможность моделирования полного рабочего дня космического экипажа (с выполнением профессиональной деятельности) на фоне воздействия изоляции, скученности, сенсорной депривации, монотонии, публичности деятельности, ограничения и навязанного характера социальных контактов [7];

2) организация коммуникаций с внешним миром по типу космической станции – Центром управления и группой специалистов, а также лимитированные

контакты с родными и близкими (в рамках психологической поддержки);

3) обеспеченная управляемой средой обитания в гермокамерах возможность самого строгого контроля воздействующих на организм и психику переменных (условия внешней среды, питание, величина физических нагрузок и пр.), что значительно повышает по сравнению с КП и другими аналогами достоверность и воспроизводимость получаемых результатов.

Эксперименты с долговременной изоляцией в гермокамерах с управляемой средой обитания точно воспроизводят инфраструктуру пребывания экипажа в модулях космической станции и позволяют ученым получать значимую информацию о состоянии здоровья, поведении, деятельности и коммуникации малых групп, отрабатывать и совершенствовать аппаратуру, оборудование и процедуры медико-психологического и инженерного обеспечения реальных КП. Значение такого рода работ подкреплено постоянно расширяемой космическими агентствами базой гермокамер-аналогов, куда относятся НЭК (ИМБП), HERA (NASA), ENVIHAB (ESA), Capsuls (CSA), Tcukuba (JAXA), MOON PALACE (SAC).

История советских гермокамерных экспериментов

В СССР в 60–80-е годы XX в. было проведено множество модельных экспериментальных исследований в условиях изоляции [8, 9]. По степени изолированности эти исследования подразделяются на 3 группы:

1) строгая изоляция без каких-либо контактов с внешним миром, сурдокамеры;

2) изоляция с использованием ограниченных средств коммуникации с внешним миром;

3) изоляция в комбинации с выполнением профессиональной деятельности.

Во время тренировок 1-й группы кандидатов на полет в космос в 1960 г. все они по несколько суток провели в тишине сурдокамеры. С тех пор программа подготовки космонавтов во многом изменилась, но испытания в сурдокамере остались. Проведенные отечественными психологами О.Н. Кузнецовым и В.И. Лебедевым [10] сурдокамерные эксперименты были направлены в основном на изучение эффектов сенсорной и перцептивной депривации. Полученные в подобных исследованиях результаты касались, как правило, психофизиологических и биохимических аспектов пребывания человека в условиях крайне ограниченной внешней стимуляции. Были получены данные (главным образом по субъективным отчетам) о психофизиологических реакциях обследуемых на условия сенсорной депривации, касающиеся появления состояний апатии, депрессии, тревоги, а также некоторых психопатологических симптомов – иллюзий, галлюцинаций и т.п. В настоящее время такого рода

эксперименты небольшой длительности в основном служат не столько фундаментальным научным целям, сколько прикладным, связанным с отбором и подготовкой экипажей.

Исследования 2-го и 3-го типов были в большей степени ориентированы на изучение индивидуальных медицинских, психофизиологических, социально-психологических, технологических и организационных аспектов пребывания малой группы в условиях изоляции, сенсорной депривации, монотонии и гиподинамии в ограниченном пространстве с управляемой средой обитания. Большинство этих экспериментов было организовано на базе наземного экспериментального комплекса (НЭК) в Институте медико-биологических проблем г. Москвы [3, 8] в 70–80-е годы прошлого века. Продолжительность изоляции составляла от 7 до 365 сут. Количество участников, как правило, не превышало 3–6 человек, что было продиктовано как ограничениями объемов экспериментальных замкнутых объектов, так и соответствием данных размеров группы реальным условиям КП. Комплексный характер экспериментальных исследований по моделированию изоляции в замкнутом объекте ограниченного объема определял большое разнообразие научных задач, решаемых в ходе таких экспериментов. При этом в российских исследованиях с модельной изоляцией наиболее значимыми считались следующие задачи:

- оценки психической работоспособности (психомоциональное состояние, когнитивные функции, профессиональные навыки);
- организации режима труда и отдыха (в частности, исследования сна);
- психологической поддержки;
- особенностей взаимоотношений и взаимодействия внутри малых групп (лидерство, групповая динамика), а также эффективности сотрудничества экипажа с Центром управления [11, 12].

Исторический обзор российских психофизиологических исследований в этот период по моделированию длительной изоляции представлен М.А. Новиковым [3].

Эксперименты по отработке элементов советских полетных программ

Примером социально-психологических исследований в гермообъеме, проведенных в целях отработки элементов советских полетных программ, могут служить осуществленный в мае – июне 1980 г. эксперимент продолжительностью 25 сут, направленный на изучение психологической совместности в изолированной малой группе, в том числе при прибытии женской экспедиции посещения. Первая экспедиция посещения с участием С.Е. Савицкой на станцию «Салют-7» была осуществлена в августе 1982 г. При организации ее медико-психологического обеспечения использовались результаты

25-суточного моделирования. Серия экспериментов по изучению взаимодействия в смешанных по составу экипажах была продолжена в феврале – апреле 1983 г., когда был проведен эксперимент продолжительностью 60 сут. В ходе эксперимента были выявлены проблемы взаимодействия, специфичные для гетерогенных по полу экипажей, связанные с гендерными стереотипами. Его данные легли в основу проведения медико-психологического сопровождения полета Е.В. Кондаковой в составе основного экипажа станции «Мир», который состоялся в октябре 1994 г. – марте 1995 г.

Отдельно следует выделить проведенные в этот период операционно-технологические эксперименты. Среди исследований, проведенных в 60-е годы XX в., наиболее длительным являлся годовой медико-технический эксперимент «Год в земном звездолете», проведенный в наземном лабораторном комплексе (НЛК) с участием 3 испытуемых с ноября 1967 г. по ноябрь 1968 г. Он проводился в рамках советской марсианской программы и был направлен на изучение факторов сверхдлительного пребывания экипажа в условиях искусственной среды обитания и ограниченного объема применительно к межпланетным полетам. В результате эксперимента были получены существенные данные о влиянии на здоровье, психофизиологическое состояние и работоспособность экипажа длительного пребывания в гермообъеме с искусственной замкнутой средой обитания (сформированной в том числе с помощью оранжереи) с пониженным содержанием кислорода и повышенной концентрацией CO₂. Кроме того, в ходе свехдлительной изоляции были выявлены проблемы с лидерством, а также проявления конфликта в экипаже, повлекшего за собой повышенную психическую напряженность в группе [13]. Результаты эксперимента поставили ряд вопросов по оптимизации систем жизнеобеспечения в космосе, а также психофизиологических проблем, с которыми неизбежно столкнется экипаж в длительной миссии и которые исследователям необходимо было решить, для того чтобы выработать критерии успешного подбора сплоченного экипажа и его последующей психологической поддержки в будущих длительных межпланетных полетах.

В первой половине 70-х годов прошлого века в ИМБП в камере объемом 6 м³ было проведено 4 эксперимента длительностью до 1 мес с участием человека. В этих экспериментах изучали модель биологической системы жизнеобеспечения (БСЖО) «человек – водоросли – минерализация». В экспериментальной системе осуществлялась регенерация атмосферы, воды и частично пищи. В систему извне поступали минеральные соли для питания водорослей и сублимированные продукты, к которым добавлялось 50 г сухого вещества биомассы водорослей [14].

В мае – июле 1983 г. был проведен технологический эксперимент по отработке элементов СЖО космических аппаратов продолжительностью 90 сут. Основной задачей эксперимента являлась отработка системы регенерации кислорода «Электрон». Позднее, в январе 1990 г., система регенерации кислорода «Электрон» установлена на станции «Мир».

Подытоживая, можно сказать, что результаты операционно-технологических экспериментов в гермокамерах ИМБП заложили принципы построения систем жизнеобеспечения советских и российских кораблей и космических станций, привели к созданию комплекса аппаратуры, по сей день являющейся основой СЖО Международной космической станции (МКС).

Международные модельные эксперименты в гермокамерах НЭК

90-е годы прошлого века знаменовали собой продолжающийся до сих пор период реализации комплексных международных экспериментов, связанных с нуждами выполнения работ на Международной космической станции и перспективных пилотируемых космических объектах [15]. Условно их можно подразделить на:

- 1) исследования, являющиеся подготовкой и контролем к конкретному реальному полету (например, HUBES-94);
- 2) эксперименты по углубленному изучению одного из новых факторов КП (SFINCSS-99 был посвящен комплексному анализу гетерогенности состава экипажа по гендерному и национальному признакам);
- 3) исследования, моделирующие новый тип космических экспедиций («Марс-500»);
- 4) технологические испытания перспективных систем жизнеобеспечения.

В 1993 г. было принято совместное решение ЕКА и ИМБП о проведении в Институте медико-биологических проблем на базе НЭК модельного эксперимента HUBES-94 (Human Behaviour in Extended Spaceflight), моделирующего ряд условий и научную медико-психологическую программу запланированного 135-суточного полета европейского космонавта на борту орбитальной станции «Мир» (программа EUROMIR-95) [16]. Эксперимент соответствовал полету по продолжительности, условиям обитания и выполняемой экипажем деятельности. В смоделированных условиях исследования изучали психоэмоциональное состояние экипажа, психическую работоспособность, социально-психологические особенности группового поведения и отдельных индивидуумов в условиях изоляции и ограниченного замкнутого объема помещения.

Основные задачи эксперимента HUBES заключались в следующем:

- сравнение и проверка адекватности психологических средств и методов, применяемых на



Рисунок. Гермокамеры экспериментов HUBES-94, «ЭКОПСИ-95» и SFINCSS-99

этапах отбора, тренировки и мониторинга состояния здоровья и деятельности экипажа во время полета;

- отбор наиболее эффективных средств и методов оценки и поддержания жизнедеятельности экипажа для использования в условиях реального КП;
- получение дополнительной информации о требованиях, предъявляемых к человеку в условиях длительного КП.

Эксперимент HUBES-94 проходил в экспериментальной установке объемом 100 м³ ЭУ-100 (рисунок). Экипаж состоял из 3 человек (мужчин в возрасте 32–37 лет). При этом максимально полно были смоделированы условия жизни и профессиональной деятельности космонавтов в продолжительных КП (газовый состав атмосферы, режим труда и отдыха, операторская деятельность, водопотребление, особенности гигиенических процедур, профилактические тренировки и т.д.). Во время эксперимента контакты испытуемых с обслуживающим персоналом (например, радиопереговоры) проводились с учетом ограничений, обусловленных реальными сеансами связи во время КП. Исключение было сделано только для дежурного врача, который выходил на связь с экипажем минимум 3 раза в сутки для осуществления оперативного медицинского контроля. В период изоляции в модуле испытуемые выполняли комплекс физических тренировок и других профилактических мероприятий, практически используемый при осуществлении реальных длительных КП в СССР.



Эксперимент «Год в земном звездолете». 1967–1968 гг. Слева направо: Г.А. Мановцев (командир экипажа), Б.Н. Улыбышев, А.Н. Божко



Экипаж 520-суточного экипажа «Марс-500». 2011 г. Верхний ряд слева направо: С.Р. Камолов, D. Urbina, А.Е. Смолеевский. Нижний ряд слева направо: R. Charles, А.С. Ситёв (командир экипажа), Wnag Yue



Экипаж эксперимента «Сириус-17». 2017 г. Верхний ряд слева направо: Н.Ю. Лысова, А.Ю. Кикина, Е.С. Лучицкая. Нижний ряд слева направо: И.В. Рукавишников, М.В. Серов (командир экипажа), V. Fetter



Земля – Луна – Станция «Врата в дальний космос» – Марс и... далее везде

В январе 1995 г. 135-суточный эксперимент HUBES-94 успешно завершился [17]. В результате эксперимента был приобретен опыт, связанный с современной технологией постановки совместных международных исследований, обработки и анализа данных, а также широким использованием компьютерной аппаратуры и современных средств связи.

Вместе с тем рамки оговоренного ЕКА эксперимента не позволили решать некоторые другие актуальные проблемы космической медицины. Так, не был реализован ряд задач, связанных с эконихологическими и этологическими аспектами взаимодействия человека и среды обитания космического корабля [15]. В связи с этим был запланирован эксперимент «ЭКОПСИ-95» с 90-суточной изоляцией экипажа из 3 человек (мужчин в возрасте от 21 года до 47 лет) в том же гермообъекте (ЭУ-100).

Эксперименты по углубленному изучению медико-психологических феноменов ДКП

Эксперимент «ЭКОПСИ-95», направленный на исследование роли биологических объектов, в частности, растений, в формировании на космических аппаратах замкнутой среды обитания, был осуществлен в период с 21 октября 1995 г. по 22 января 1996 г. Результаты эксперимента позволили достоверно, с помощью современных научных методов, подтвердить мнение российских космонавтов, что растения космической оранжереи оказывают влияние не только на пищевой рацион, но и на «психологический климат» в экипаже, компенсируя недостаток «домашнего» комфорта на станции, а также отсутствие компонентов живой природы.

Основные эконихологические задачи эксперимента «ЭКОПСИ-95» сводились к следующему:

- экспериментальное исследование влияния вегетирующих растений на психологический статус экипажа;
- изучение динамики психофизиологической комфортности и продуктивности в зависимости от особенностей среды обитания;
- уточнение негативных эффектов выявленных на космической станции примесей газовой среды на рост и развитие высших растений.

Кроме того, в рамках «ЭКОПСИ-95» решалась задача по экспериментальному обоснованию требований к отбору и подготовке космонавтов по преодолению «сложных условий существования» (СУС), связанных с выполнением профессиональной деятельности в ночное время. Для моделирования СУС в ходе изоляции дважды – на 21-е и 59-е сутки эксперимента – в гермокамеры «прибывал и стыковался» экипаж посещения из 3 человек, мужчин в возрасте 20–36 лет. После этого оба экипажа в течение 60 ч были лишены сна, осуществляя режим непрерывной операторской деятельности в условиях повышенной скученности. Обследуемыми, кроме

профессиональной задачи по стыковке на космическом тренажере «Пилот», выполнялся комплекс задач по адаптивному слежению и сенсомоторному управлению, требующих использования счетно-логических способностей, а также способностей к концентрации внимания в условиях дефицита времени.

В соответствии с основными выводами, сделанными по результатам исследований, общей закономерностью адаптационной реакции у членов экипажа было развитие синдрома функционального напряжения [18]. Однако отмеченные изменения в состоянии здоровья и психоэмоционального статуса были выражены умеренно и не носили патологического характера. Существенное ухудшение качества профессиональной деятельности отмечалось лишь во время периодов «сложных условий существования», что свидетельствует о повышенном риске выполнения таких операций при нарушениях режима труда и отдыха в условиях КП.

Наличие в ходе эксперимента критических периодов, совпадающих с наиболее сложными этапами изоляции (начальный период, нештатные ситуации, экспедиции посещения), сопровождалось снижением психической работоспособности и качества операторской деятельности. Наиболее чувствительными к фактору изоляции оказались сложные навыки по адаптивному слежению и сенсомоторному управлению, а также навыки, требующие использования в условиях дефицита времени счетно-логических способностей к концентрации внимания.

В 1999 г. начался эксперимент SCFINCSS-99. Его основной целью являлось получение экспериментальных данных о влиянии длительной изоляции в герметичном замкнутом пространстве, моделирующем условия полета МКС, на взаимодействие в международных экипажах с неоднородным национальным и гендерным составом [15, 19].

Для решения основных задач эксперимента были сформированы 3 экипажа с различной степенью гетерогенности состава. Кроме того, были сформированы экипажи посещения. Испытатели были отобраны по критериям медицинского отбора космонавтов. Всего в эксперименте в качестве испытуемых-добровольцев приняли участие 21 человек (15 человек – представители России, 3 – представители Японии, 1 – представитель Германии, 1 – представитель Канады, 1 – представитель Франции).

Первая группа российских участников состояла из 4 мужчин: 3 врачей и 1 инженера в возрасте от 37 до 48 лет. Группа провела в изоляции 240 сут в объекте ЭУ-100. Циклограмма ее деятельности была аналогичной режиму станции «Мир». По просьбе руководства эксперимента для проведения оперативно-технологических работ один из обследуемых этой группы продолжил пребывание в изоляции в составе 3-й группы 24 сут сверх запланированных 240 сут.

Вторая группа состояла из 4 мужчин (3 российских участников и 1 представителя Германии – командира экипажа): 3 врачей и 1 инженера в возрасте от 27 до 45 лет. Группа провела в изоляции 110 сут в объекте ЭУ-37, в который вошла через 21 сут после начала эксперимента. Она выполняла более напряженную деятельность в режиме, который предполагался на этапе развертывания МКС, что было достигнуто за счет дополнительных физических тренировок. Для дополнительной нагрузки использовался тренажер, имитирующий работу во время внекорабельной деятельности.

Третья группа состояла из 3 мужчин и 1 женщины, представлявших Канаду, Японию и Россию. Распределение профессий было следующим: 3 медицинских работника и 1 специалист по спорту, возраст составлял от 27 до 37 лет. Группа начала свое 110-суточное пребывание в объекте ЭУ-37 через 23 дня после окончания изоляции группы 2. Режим их деятельности был сходным с условиями деятельности группы 2. Отличием функционирования группы была возможность гибкого планирования их дневного расписания. Их информировали об общем объеме работы, которую необходимо выполнить каждый день, и им было разрешено распределять время по своему усмотрению. Через 60 сут изоляции 1 из обследуемых этой группы по собственному желанию досрочно завершил эксперимент.

Помимо основных участников в эксперименте принимали участие 3 дополнительные группы (4, 5 и 6), находившиеся в изоляции меньший период времени. Группы 4 и 5 (экспедиции посещения), состоявшие соответственно из 3 и 4 человек, находились в изоляции по 7 сут. При этом группа 5 была интернациональной и состояла из представителей России, Франции, Японии и Германии. Группа 6, состоящая из врачей-исследователей, в течение 4 сут проводила углубленное медицинское обследование испытуемых группы 1, не прерывая их пребывания в условиях изоляции, с целью определения возможности их дальнейшего участия в эксперименте.

Основными научными результатами эксперимента SFINCSS-99 [20, 21] стали следующие выводы:

1. Показано, что самостоятельное («гибкое») планирование работ экипажем 3 в большинстве случаев приводило к сдвигу их выполнения на вечерние и ночные часы, трудностям во взаимодействии с группой управления экспериментом. У членов этого экипажа наблюдались более выраженные явления астенизации и десинхроноза по сравнению с экипажем, работавшим в условиях регламентированного режима труда и отдыха.

2. Наличие другого экипажа воспринимается как еще один фактор внешней среды, требующий соответственного приспособления. В среднем в течение 3 нед устанавливается комфортный уровень взаимодействия.

3. При совместной работе нескольких экипажей, даже однородных по составу, но отличающихся по длительности пребывания, как в условиях КП, так и в наземных экспериментах наблюдается период взаимной адаптации.

4. Различия в культурных традициях, недостаточное владение иностранными языками, не позволяющее вне рабочее общение в полном объеме, существенно тормозят процесс адаптации.

5. Физические упражнения в условиях длительной изоляции выступают не только в качестве средства профилактики, но и играют роль метода психологической поддержки, помогая преодолевать монотонность окружающей среды.

6. Приход экипажа посещения является мощным возмущающим фактором, обеспечивающим дополнительную нагрузку на межгрупповое взаимодействие.

*Эксперименты, посвященные моделированию
медико-психологических аспектов
перспективных пилотируемых полетов*

Следующим крупным международным проектом по изоляции стала серия экспериментов «Марс-500». Проект проводился под эгидой РАН при поддержке Роскосмоса с широким международным участием и был реализован в 2007–2011 гг. Основной его целью являлось изучение взаимодействия в контуре «человек – окружающая среда» и получение экспериментальных данных о состоянии здоровья и работоспособности человека, находящегося в условиях изоляции в герметично замкнутом пространстве ограниченного объема при моделировании основных отличий и ограничений, присущих автономному марсианскому полету [22, 23]. В рамках проекта «Марс-500» экипажи выполняли интенсивную научную программу, составленную РАН, ЕКА, Китайским ЦПК, NSBRI (США) и другими российскими и иностранными партнерами, которая включала более 100 исследовательских проектов, в том числе специализированных, а также ряд экспериментов, имитирующих те или иные аспекты предполагаемого пилотируемого полета на Марс [24, 25].

Серия экспериментов проекта реализовывалась в 3 этапа:

1) 14-суточная изоляция (окончена в ноябре 2007 г.);

2) 105-суточная изоляция (окончена в июле 2009 г.);

3) 520-суточная изоляция (окончена в ноябре 2011 г.).

На каждом этапе участвовали группы испытуемых, состоящие из 6 человек. Первая группа была смешанной: 5 мужчин и 1 женщина, 2-я и 3-я группы состояли только из мужчин.

Следует отметить, что отработанная на 1-м и 2-м этапах эксперимента «Марс-500» система

психологического отбора доказала свою эффективность на 3-м этапе. Третий экипаж испытуемых при 520-суточной изоляции прошел эксперимент как слаженная команда. В ходе эксперимента не возникало конфликтных ситуаций, тем более требующих вмешательства наземных служб. Основные результаты представлены в многочисленных публикациях [26–31].

С 28 октября по 6 ноября 2015 г. в ИМБП был проведен эксперимент «Луна-2015», основной целью которого стояла комплексная оценка психофизиологического статуса женского экипажа во время краткосрочной изоляции в гермообъекте, в рамках моделирования лунной экспедиции [32]. Эксперимент включал в себя подготовительный этап, 2 серии вращения на центрифуге короткого радиуса (ЦКР) и 2 изоляции (3 и 9 сут). Испытателями стали 6 здоровых женщин-добровольцев в возрасте от 22 до 45 лет. В рамках изоляционного эксперимента были созданы 2 нештатные ситуации, с которыми может столкнуться предполагаемый лунный экспедиционный корабль. Обе нештатные ситуации экипаж преодолел успешно. Все задачи, поставленные в рамках проекта, были выполнены в полном объеме [33].

В настоящее время в ГНЦ РФ – ИМБП РАН в тесной кооперации с подразделением HRP (Human Research Program) NASA начат новый проект «Сириус», являющийся серией международных экспериментов по изоляции и направленный на решение психологических и физиологических проблем перспективных длительных КП. В рамках проекта будут проведены нескольких изоляционных экспериментов с увеличивающейся продолжительностью пребывания обследуемых в гермообъекте. Целью планируемых изоляционных исследований является моделирование значимых событий в ходе длительного пребывания космонавтов на космической станции и при высадке на планету [34].

Проект включает в себя несколько этапов и в целом похож в плане организации проведения на предыдущий эксперимент «Марс-500», однако ставит перед собой несколько иные задачи.

Первый эксперимент «Сириус-17» стартовал 7 ноября 2017 г. В рамках эксперимента проводилось тестирование стенда рабочего места пилота российского космического корабля «Федерации». Испытания аппаратуры осуществлялись на разных этапах условного облета Луны: во время условной стыковки «космического корабля» с разгонным блоком на околоземной орбите, при коррекции траектории, переходе с окололунной орбиты на трассу полета к Земле и на этапе приземления.

Одним из главных факторов эксперимента была автономность. Экипажем поддерживалась радиосвязь с Центром управления полетом ИМБП, но с 5-минутной задержкой. Физических тренировок – на тренажерах, беговой дорожке у команды «лунного корабля» не было, поскольку специалистам надо

было тщательно изучить влияние гиподинамии на общее состояние организма членов экипажа, чтобы впоследствии сравнить его с результатами обследования участников других миссий проекта «Сириус». Кроме того, в ходе программы уточнялась система медицинского наблюдения за экипажем, а также апробировались перспективные системы психологической поддержки и новые принципы распределения пространства в космическом корабле для обеспечения комфорта экипажа будущих межпланетных полетов.

На МКС все чаще работают смешанные экипажи, и одной из фундаментальных задач в эксперименте «Сириус» является исследование влияния гендерного фактора на взаимоотношения и взаимодействие в экипаже. Специалисты будут оценивать, насколько это отразится на поведении каждого члена команды, как изменится состояние и самочувствие экипажа.

В эксперименте «Сириус-17» моделировалась нештатная ситуация, предполагающая нарушение режима сна. Экипаж бодрствовал и непрерывно работал в течение 38 ч, выполняя сложную операторскую деятельность. Всего в рамках первой «лунной» миссии было проведено 49 экспериментов. Научные «итоги» будут подведены примерно через полгода. Затем специалисты приступят к подготовке следующего эксперимента, запланированного на осень 2018 г.

Кроме краткосрочных миссий (2–3 нед) в основной серии экспериментов планируется проведение 4-, 8- и 12-месячной изоляции (возможно проведение еще двух 12-месячных экспериментов в период 2023–2025 гг.). На каждом этапе предполагается создание гендерно-смешанных экипажей международного состава. При этом в ходе экспериментов предполагается моделировать ключевые операции будущих космических экспедиций. Например, в ближайших проектах экипажи будут выполнять стыковки кораблей с находящейся на орбите Луны станцией, дистанционное управление с орбиты на планетными устройствами (роверами), что можно рассматривать как элементы отработки деятельности космонавтов на международной окололунной орбитальной станции Deep Space Gateway (Ворота в дальний космос). Кроме того, будет продолжено комплексное использование существующих и новых аппаратных стендов, а также технологии виртуальной реальности для воссоздания высадки на планеты, выполнения операций десантной части экипажа. Эти работы предполагают моделирование посадки на планеты, выходов на поверхность в скафандрах, управление роверами, взлета и т.д. Достоверное воссоздание в ходе цикла гермокамерных экспериментов существенных элементов перспективных космических экспедиций позволит отработать их медико-биологическое сопровождение, комплексно исследовать медико-психологические корреляты возникающих в ходе межпланетных

полетов стрессовых ситуаций, отработать новые медицинские технологии.

Выводы

Для обеспечения успеха и получения значимых научных результатов модельные эксперименты с изоляцией в гермокамерах должны быть организованы в соответствии со следующими основополагающими принципами:

1. Детальная проработка сценария эксперимента и обоснование с точки зрения реально существующих биомедицинских и операционно-технологических проблем пилотируемой космонавтики. При этом необходимо максимально включать в такой сценарий целесообразное использование реальных полетных процедур, аппаратуры и оборудования.

2. Тщательный отбор и подготовка психологически совместимого и сплоченного экипажа, проводимые на основе существующих в пилотируемой космонавтике стандартов отбора и подготовки. Игнорирование этого принципа может вызвать не только возникновение конфликтной напряженности в экипаже и в общении с Центром управления, но и существенное снижение количества и качества получаемых научных данных.

3. Широкая кооперация всех участников проекта, прежде всего, в плане обмена полученными данными. Модельные эксперименты обеспечивают ученым уникальные возможности сопоставления своих результатов, описывающих динамику состояния здоровья, поведения и деятельности человека в моделируемой искусственно среде обитания, с параллельно собираемой информацией в области физиологии, биохимии, иммунологии, микробиологии и других областей знаний.

4. Организация международного сотрудничества ученых. Участие в экспериментах, моделирующих условия пилотируемого космического полета, дает возможность международным группам ученых отработать свое взаимодействие и сформировать единый исследовательский коллектив, который может в дальнейшем эффективно работать на Земле и в космосе.

5. Единство и преемственность используемых методических подходов в модельных и натурных полетных экспериментах существенно повышает научную значимость и надежность получаемых данных на Земле и в космосе.

Работа поддержана Российской академией наук.

Список литературы

1. Леонов А.А., Лебедев В.И. Психологические проблемы межпланетного полета. М., 1975. С. 12–100.

Leonov A.A., Lebedev V.I. Psychological problems of an interplanetary flight. Moscow, 1975. P. 12–100.

2. Harrison A.A., Connors M.M. Groups in exotic environments // Adv. in Experimental Social Psychol. 1984. V. 18. P. 49–87.

3. Novikov M.A. Russian long-duration psychophysiological investigations in confinement conducted in ground simulation complex at IBMP (Moscow) // ESA Space Psychology Days 3. Publication ESA-LTPO. Paris, 1993.

4. Roher J.H. Interpersonal relationships in isolated small groups // Psychophysiological aspects of space flight / B.E. Flaherty, ed. N.Y., 1961. P. 263–271.

5. Santy P. Choosing the right stuff. The psychological selection of astronauts and cosmonauts. Westport, Connecticut, 1994.

6. Ильин Е.А. Годовое пребывание на станции «Восток» в Антарктиде как аналог длительного космического полета // Космическая медицина и биология. 2013. Воронеж, С. 517–535.

Ilyin E.A. One-year stay at «Vostok» station in Antarctica as an analog of a long space flight // Space biology and medicine. 2013. Voronezh, P. 517–535.

7. Новиков М.А. Психофизиологические и экпсихологические аспекты межличностного взаимодействия в автономных условиях // Проблемы общения в психологии / Б.Ф. Ломов, ред. М., 1981. С. 178–217.

Novikov M.A. Psychophysiological and eco-psychological aspects of interpersonal interaction in autonomous conditions // Problems of communications in psychology / D.F. Lomov, ed. Moscow, 1981. P. 178–217.

8. Gushchin V.I., Kholin S.F., Ivanovsky Yu.R. Soviet psychophysiological investigations of simulated isolation: some results and prospects // Adv. in Space Biology and Medicine / S.L. Bonting, ed. 1993. V. 3. P. 5–14.

9. Smith S. Studies of small groups in confinement // Sensory deprivation: fifteen years of research / J.A. Zubek, ed. N.Y., 1969. P. 374–403.

10. Лебедев В.И. Личность в экстремальных условиях. М., 1989. С. 31–40.

Lebedev V.I. Personality under extreme conditions. Moscow, 1989. P. 31–40.

11. Проблема психической астенизации в долговременных космических полетах / В.И. Мясников, С.И. Степанова, В.П. Сальницкий и др., ред. М., 2000.

Problem of psychological asthenisation in long duration space missions / V.I. Myasnikov, S.I. Stepanova, V.P. Salnitskiy et al., eds. Moscow, 2000.

12. Gushchin V.I., Yusupova A.K., Shved D.M. et al. The evolution of methodological approaches to the psychological analysis of the crew communications with Mission Control Center // REACH-reviews in human space exploration. 2016. № 1. P. 74–83.

13. Мановцев Г.А. Годовой медико-технический эксперимент // Космическая медицина и биология. Воронеж, 2013. С. 489–498.

Manovtsev G.A. One-year medical and technical experiment // Space biology and medicine. 2013. Voronezh, P. 489–498.

14. Сычев В.Н., Левинских М.А., Гурьева Т.С. Исследования применительно к созданию биологических

систем жизнеобеспечения // Космическая медицина и биология. 2013. Воронеж, С. 584–598.

Sychev V.N., Levinskikh M.A., Gurieva T.S. Research in relation to the creation of biological life support systems // Space biology and medicine. 2013. Voronezh, P. 584–598.

15. Белаковский М.С., Демин Е.П. Эксперименты HUBES, «ЭКОПСИ-95» и SFINCSS // Космическая биология и медицина. Воронеж, 2013. С. 499–507.

Belakovskiy M.S., Demin E.P. HUBES, «ЭКОПСИ-95» and SFINCSS experiments // Space biology and medicine. Voronezh, 2013. P. 499–507.

16. Advances in space biology and medicine / S.L. Bonting, ed. 1996. V. 5.

17. The HUBES Symposium (Abstracts). Publication ESA-LTPO, Paris, November 27–29, 1995.

18. Авиакосмическая и экологическая медицина. 1997. Т. 31. № 4-6.

Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya medicina. 1997. V. 31. N 4-6.

19. Баранов В.М., Демин Е.П., Степанов В.А. и др. Эксперимент SFINCSS-99. Моделирование полета международного экипажа на космической станции // Модельный эксперимент с длительной изоляцией: проблемы и достижения / В.М. Баранов, ред. М., 2001. С. 17–24.

Baranov V.M., Demin E.P., Stepanov V.A. et al. Experiment SFINCSS-99. Simulation of flight of international crew on space station // Simulation of extended isolation: Advances and problems / V.M. Baranov, ed. 2001. Moscow, P. 17–24.

20. Модельный эксперимент с длительной изоляцией: проблемы и достижения / В.М. Баранов, ред. М., 2001. Simulation of extended isolation: Advances and problems / V.M. Baranov, ed). Moscow, 2001.

21. Baranov V.M., Demin E.P., Gushin V.I. et al. Project SFINCSS-99 simulation of flight of international crew on space station: Experience and lessons learned // Simulation of extended isolation: Advances and problems / V.M. Baranov, ed. 2001. Moscow, P. 524–530.

22. Grigoriev A.I., Kozlovskaya I.B., Potapov A.N. Goals of biomedical support of a mission to Mars and possible approaches to achieving them // Aviation, Space and Environ. Med. 2002. V. 73 (4). P. 379–384.

23. Григорьев А.И., Моруков Б.В. Марс все ближе // Наука в России. 2011. Т. 181. № 1. С. 4.

Grigoriev A.I., Morukov B.V. Mars is getting closer // Nauka v Rossii. 2011. V. 181. № 1. P. 4.

24. «Mars-500» Project: <http://www.mars500.imbp.ru>.

25. Belakovskiy M.S., Breus T.K., Voloshin O.V. et al. Manned Spaceflight. 2011. № 4. P. 1–7. China Manned Space Engineering Office.

26. Григорьев А.И., Ушаков И.Б., Моруков Б.В. К первым итогам международного мегаэксперимента «Марс-500» // Пилотируемые полеты в космос. 2012. № 1 (3). С. 5–14.

Grigoriev A.I., Ushakov I.B., Morukov B.V. First results of the «Mars-500» international megaexperiment // Pilotiruemye polity v kosmos. 2012. № 1 (3). P. 5–14.

27. Григорьев А.И., Ушаков И.Б., Моруков Б.В. и др. Основные операционные подходы к наземному моделированию пилотируемого полета на Марс // Биотехносфера, 2013. № 4 (28). С. 11–17.

Grigoriev A.I., Ushakov I.B., Morukov B.V. et al. Main technological approaches to the ground-based simulation of a manned Mars mission // Biotekhnosfera. 2013. № 4 (28). P. 11–17.

28. Моруков Б.В., Белаковский М.С., Демин Е.П., Суворов А.В. Эксперимент с 520-суточной изоляцией в гермообъеме: задачи, структура, предварительные итоги // Международный симпозиум по результатам экспериментов, моделирующих пилотируемый полет на Марс («Марс-500»). (Москва. 23–25 апреля 2012 г.). М., 2012. С. 44.

Morukov B.V., Belakovskiy M.S., Demin E.P. Experiment with 520-days isolation in the hermetic chamber: goals, structure and preliminary results // Proceedings of International symposium on the results of experiments simulating a manned flight to Mars («Mars-500»). (Moscow, 23–25 April 2012). Moscow, 2012. P. 44.

29. Моруков Б.В., Белаковский М.С., Демин Е.П. Эксперимент с 520-суточным пребыванием экипажа в условиях изоляции (проект «Марс-500») // Космическая биология и медицина. 2013. Воронеж, С. 508–516.

Morukov B.V., Belakovskiy M.S., Demin E.P. Experiment with 520-days stay of a crew in the isolation conditions (project «Mars-500») // Space biology and medicine. 2013. Voronezh, P. 508–516.

30. Morukov B.V., Belakovskiy M.S., Demin E.P., Vasilieva G.Yu. «Mars-500» project: the main results. Prospects of the results use // Proceedings of 19th International symposium «Humans in Space». Cologne, 2013.

31. Ushakov I.B., Morukov B.V., Bubeev Y.A. et al. Main findings of psychophysiological studies in the «Mars-500» experiment // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2014. V. 84 (2). P. 106–114.

32. Orlov O.I., Belakovskiy M.S., Ponomarev S.A. A moon of their own – the «Luna-2015» female crew experiment // ROOM the Space Journal 4 (6).

33. Пономарев С.А., Смолевский А.Е., Маркин А.А. и др. Проект «Луна-2015», основные итоги // Авиакосм. и экол. мед. 2016. Т. 50. № 5. Спец. вып. С. 177–179.

Ponomarev S.A., Smoleevskiy A.E., Markin A.A. et al. «Moon-2015» project, main results // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2016. V. 50. № 5. Special issue. P. 177–179.

34. Гущин В.И., Binsted K., Демин Е.П., Комиссарова Д.В., Белаковский М.С. Опыт и перспективы модельных изоляционных экспериментов в России и США // Там же. С. 61–63.

Gushchin V.I., Binsted K., Demin E.P., Komissarova D.V., Belakovskiy M.S. Experience and perspectives of model isolation experiments in Russia and in the USA // Ibid. P. 61–63.

Поступила 14.03.2018

EXPERIMENTS WITH ISOLATION: THE PAST, PRESENT AND FUTURE

**Gushchin V.I., Vinokhodova A.G.,
Komissarova D.V., Belakovsky M.S., Orlov O.I.**

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).
2018. V. 52. № 4. P. 5–16

Studies of small groups of volunteers in extended confinement and isolation with controlled environment are reviewed. These studies provide opportunities to test

approaches and tools enhancing the system of biomedical support to space crews and to lay the groundwork of remote autonomous missions in future. The review describes the goals, objectives scenarios, and main results of the long-duration isolation projects performed at the IBMP Ground-based Test Facility since 1960s, and a forthcoming series of the «Sirius» analog studies. The authors elaborate on the fundamental principles of successful and productive accomplishment of this type of projects.

Key words: space mission, analog studies, scenario of experiment, crew, isolation, chamber, controlled environment, autonomy.

УДК 001.891.32

DANIO RERIO В КАЧЕСТВЕ МОДЕЛИ ДЛЯ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Лукичёва Н.А., Кабицкая О.Е., Васильева Г.Ю., Сычев В.Н.

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

E-mail: kabitskaya@mail.ru

Экспериментальная биология и медицина не может обойтись без лабораторных животных. Насчитывается примерно 250 видов позвоночных животных, используемых в различных исследованиях, причем по данным на 2005 г. более 70 % экспериментов проводится на мышах. Однако поиск адекватных «удобных» моделей для исследований продолжается.

Стрейсинджер открыл *Danio rerio* (zebrafish) для науки. Его коллега Киммел продолжил исследования в области генетики и эмбриогенеза, и ему удалось доказать, что развитие этих рыбок соответствует развитию всех позвоночных на ранних этапах.

Растущая популярность рыбок обусловлена тем, что они сравнительно быстро размножаются и растут, неприхотливы, удобны для разведения и относительно дешевы. На первых жизненных стадиях они прозрачны, что позволяет изучать их органы под микроскопом без препарирования.

За последние несколько десятилетий *Danio rerio* неоднократно доказывал свою состоятельность как самостоятельный модельный организм. Он обладает рядом преимуществ, которые позволяют дополнять данные, полученные на других моделях (мыши, крысы и т.д.), что свидетельствует о его универсальности в исследованиях касающихся позвоночных животных.

Физиология и организация генома *Danio rerio* во многих аспектах похожи на человека, и скелет, и минерализующие ткани не являются исключением. Несмотря на некоторые системные физиологические различия млекопитающих и костистых рыб и относительно краткую историю в качестве модели для исследования костной ткани, *Danio rerio* и в остеологии представляет собой полезное дополнение к экспериментам с мышами.

Ключевые слова: экспериментальные животные, *Danio rerio*, онтогенез, регенерация, остеогенез.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 4. С. 17–23.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-17-23

В начале XVII в. Френсисом Бэконом был предложен эксперимент как основной метод познания. Тогда же Уильям Гарвей формулирует теорию кровообращения, основываясь на доказательствах, полученных при изучении движения крови у овцы.

В начале XIX в. во Франции появляются первые центры по экспериментальной биологии и медицине. Большой вклад в развитие этого направления внес Клод Бернар, профессор экспериментальной физиологии в Сорбонне, позднее экспериментальной медицины в Коллеж де Франс, сформулировавший классическое понятие гомеостаза. На основе экспериментов с собаками им была создана первая теория, объясняющая природу диабета.

В лаборатории Клода Бернара в 1862 г. И.М. Сеченов экспериментально проверил гипотезу о влиянии центров головного мозга на двигательную активность. Он обнаружил, что химическое раздражение продолговатого мозга и зрительных бугров кристалликами поваренной соли задерживало рефлекторную двигательную реакцию конечности лягушки.

И.П. Павлов – создатель материалистического учения о высшей нервной деятельности, в своей статье «Живосечение» впервые коснулся проблем биоэтики.

После Первой мировой войны в Америке началась селекция лабораторных мышей и крыс. Бурное развитие экспериментальной биологии и медицины привело к тому, что в середине прошлого века сформировалась новая отрасль науки – «Наука о лабораторных животных». Основными задачами данного направления является создание и разведение животных контролируемого качества, адекватное проведение экспериментов для решения проблем человечества. Помимо этого, особое внимание уделяется этическим аспектам вопроса [1].

Насчитывается примерно 250 видов позвоночных животных, используемых в различных исследованиях. Более 70 % всех экспериментов проводится на мышах, около 15 % – на крысах, 9 % – на морских свинках, 2 % – на кроликах и 5 % – на других видах (в том числе птицах, рыбах и амфибиях) [2]. Ежегодно более 100 млн лабораторных животных участвуют в медицинских, биологических, токсикологических, космических, военных и других экспериментах: по данным за 2005 г. – 115,3 млн [2] и 118,4 млн – в 2012 г. [3].

Несомненно, исследования с использованием животных играют важную роль в развитии медицины и

фундаментальной науки. Проблема поиска наиболее «удобных» объектов остается актуальной. В качестве модели для исследования костной ткани, и особенно при изучении действия факторов космического полета, нас заинтересовала – рыбка, ставшая популярным объектом исследований в области генетики и эмбриогенеза к концу прошлого столетия.

*Общие сведения о *Danio rerio**

Danio rerio – *Brachidanio rerio* (Hamilton – Buchanan, 1822) относится к отряду карпообразные (Cypriniformes), семейству карповые (Cyprinidae) [4]. Ареал *Danio rerio* можно обозначить как восточное побережье Передней Индии. Чаще всего встречается в реках с медленным течением и илистым дном. В Европу они были завезены в 1905–1906 гг., в СССР привезены в 1950 г.

Это небольшие активные рыбки. Длина взрослой особи обычно не более 4,5 см, в редких случаях до 6 см. Тело вытянуто в длину и сжато с боков. Рот верхний. Передний край анального плавника лежит всегда напротив спинного. *Danio rerio* имеет две пары усиков. Боковая линия неполная [5].

Благодаря своей окраске *Danio rerio* также известен как «дамский чулок» или zebrafish – от жаберных крышек до хвостового плавника тянутся чередующиеся темные и светлые продольные полосы, немного расширяющиеся в средней части. Темные полосы, как правило, сине-черные с металлическим отливом, а светлые – соломенно-желтые. Полосы заходят на анальный плавник, остальные же плавники беловато-желтые без рисунка, лишь спинной плавник оторочен темной полосой [6]. Зрелые самки крупнее самцов и имеют более округлое брюшко и менее интенсивную желтую окраску. Пол молоди можно определить только путем вскрытия [5]. Питается *Danio rerio* преимущественно зоопланктоном [7].

Половое созревание рыб зависит не столько от возраста, сколько от размера. Самки достигают половозрелости при длине тела свыше 24 мм, самцы – 23 мм, как правило, это происходит в возрасте 10–12 нед [7]. Одна самка выметывает от 60 до 200 икринок. Оптимальная температура воды для развития икры 22–30 °С. При хороших условиях личинки вылупляются примерно через 3 дня после оплодотворения. На 5–6-й день они начинают питаться самостоятельно [8].

Максимальная скорость роста наблюдается в первые 3 мес жизни, затем постепенно снижается. В природе *Danio rerio* растут медленнее и живут, как правило, меньше, чем в лаборатории [7]. Средняя продолжительность жизни в неволе 4 года, максимальная – 6 лет [9].

Danio rerio как «удобная» модель

Впервые о *Danio rerio* как об объекте изучения стало известно в начале 60-х годов прошлого века.

Молекулярный биолог Джордж Стрейсинджер решил расширить круг объектов генетических исследований, к которым по большей части относились растения, простейшие и дрозофилы, и нашел идеальный, на его взгляд, объект для изучения эмбрионального развития (в частности, развития нервной системы) и мутагенеза позвоночных [10].

Можно считать, что именно Стрейсинджер открыл *Danio rerio* для науки. Его коллега С.Б. Киммел продолжил исследования в области генетики и эмбриогенеза, и ему удалось доказать, что развитие этих рыбок соответствует развитию всех позвоночных на ранних этапах [11].

В середине 80-х годов прошлого столетия нобелевский лауреат за открытия генетического контроля эмбрионального развития Нюслийн-Фольхард проявила интерес к *Danio rerio* и использовала эту рыбку в качестве модели для изучения развития позвоночных животных. Авторы индуцировали этилметансульфонатом точечные мутации в премитотических зародышевых клетках со скоростью от 1 до 3 мутаций на локус на 1000 мутагенизированных гаплоидных геномов. Эта скорость, аналогична скорости мутагенеза, продуцируемой у *Drosophila*. Сравнение генов *Danio rerio* и дрозофилы показали, что схожие гены разных организмов могут выполнять разные функции, что позволило иначе взглянуть как на развитие конкретного организма, так и на эволюцию в целом [12]. Теперь, когда геном *Danio rerio* полностью расшифрован, их активно используют не только в биологических, но и в медицинских исследованиях.

В 1993 г. в США (Oregon zebrafish laboratories) была организована первая конференция, посвященная результатам исследований этой рыбки, на которой присутствовало более 40 ученых из США и Европы. Наибольшее внимание уделялось генетическим исследованиям и перспективе возможного использования *Danio rerio* [13].

В 1994 г. началась работа над созданием единого ресурса, посвященного *Danio rerio*, который объединит в себе всю имеющуюся информацию об этой рыбке, ее геноме и о возможности использования ее в различных исследованиях [14].

Одним из существенных преимуществ *Danio rerio* является простота в получении мутантов, при этом необходимые признаки с легкостью закрепляются и передаются потомству. Множество различных исследований с участием мутированных рыбок показали, что иногда они выживают с такими дефектами, от которых погибают мыши, что дает возможность использовать *Danio rerio* для изучения природы различных заболеваний. Для более удобного наблюдения за процессами в организме *Danio rerio* в лаборатории профессора Леонарда Зона в Бостоне были выведены рыбки, которые сохраняют свою прозрачность при переходе во взрослое

состояние. Выведенная линия была названа Каспер (Casper) [15].

Во многих исследованиях используется генетически модифицированный *Danio rerio*. Одной из наиболее популярных методик является подсвечивание необходимых для эксперимента органов или клеток с помощью флуоресцентных белков. Рыбки практически прозрачные, что позволяет ученым с легкостью наблюдать исследуемые процессы в организме [16]. Например, для тестирования лекарств выводятся линии трансгенных рыб, которые несут гены какой-либо человеческой болезни. Затем их икру инкубируют с потенциальным лекарственным препаратом, и в случае если тестируемое вещество вступает во взаимодействие с рецептором, контролирующим экспрессию гена заболевания, то эмбрион рыбки начинает светиться [17]. С помощью светящихся *Danio rerio* ученые смогли понаблюдать за работой нейронов, при этом свечение клеток изменялось в зависимости от концентрации ионов кальция, так как возбуждение нейрона связано с резким повышением кальция в клетке [18].

Danio rerio является идеальным объектом для исследований в связи с:

- 1) легкостью содержания в лабораторных условиях (рыбки выдерживают колебания температуры воды от 12 до 32 °C, не требуют больших объемов воды (около 10 л на пару особей) [5];
- 2) высокой скоростью размножения и онтогенеза;
- 3) прозрачностью эмбрионов и личинок [7];
- 4) характерного для всех позвоночных животных плана развития на ранних этапах эмбриогенеза [13];
- 5) полностью секвенированным геномом;
- 6) наличием гомологов в геноме человека;
- 7) экономичностью (содержание *Danio rerio* обходится в разы дешевле, чем содержание лабораторных мышей [19].

Области применения

Эмбриология

Одна из основных причин, почему *Danio rerio* стал так популярен в научной среде, – скорость его эмбрионального развития. Путь от икринки до личинки занимает не более 3 дней, на ранних этапах он соответствует эмбриогенезу всех позвоночных животных, к тому же за счет того, что оплодотворение у рыб наружное и эмбрион развивается не в теле матери, это во многом облегчает его изучение. Дополнительным плюсом является прозрачность рыбок в течение всего времени эмбриогенеза и личиночной стадии, что позволяет ученым беспрепятственно наблюдать формирование тканей и органов [7].

Внимание эмбрионам *Danio rerio* уделялось с самого начала его применения в исследованиях. Так в 60-х годах прошлого века Стрейсинджер изучал формирование нервной системы позвоночных на примере *Danio rerio* [10]. С развитием технологий электронная микроскопия позволила проследить деление клеток эмбриона, Филип Келлер и его коллеги использовали зеленый флуоресцирующий белок, который вживлялся в зиготу и в дальнейшем распространялся в процессе деления. На основе данного метода была создана цифровая 3D-модель эмбриона *Danio rerio*, которая иллюстрирует все клеточные деления на протяжении первых 24 ч. Помимо методологического значения Келлер своей работой доказал, что асимметрия формируется на стадии 512-клеточного эмбриона. Также с помощью этого метода удалось определить источник гипобласта, дающего начало 2 зародышевым листкам: мезодерме и энтодерме [20]. С помощью ферромагнитных капель была установлена неоднородность эмбриона, данный метод позволил проследить динамику в эмбриогенезе [21].

В 2012 г. Р. Брайсон-Ричердсон, С. Бергер и П. Кэрри опубликовали атлас развития *Danio rerio* (Atlas of Zebrafish Development), который включает в себя не только детальное описание эмбрионального развития и личинки, но и изменения взрослого организма в течение жизни [22].

Эмбрионы *Danio rerio* также активно используются для изучения развития сердечно-сосудистых, онкологических, генетических заболеваний и т.д.

Исследования регенеративных способностей

Ряд исследований показали, что *Danio rerio* обладает невероятными регенеративными способностями, например восстановлением сетчатки глаза, что совсем нехарактерно для млекопитающих. Недавние исследования показали, что снижение функции нейромедиатора ГАМК ведет к восстановлению клеток сетчатки [25].

Исследователи Медицинского центра университета Дьюка проводили эксперимент, во время которого удалялось 20 % сердечной мышцы. Если в первые дни эксперимента показатели жизнедеятельности рыбок были несколько ниже нормы, то уже через несколько недель исследуемую группу нельзя было отличить от контрольной. Ученые выяснили, что за регенерацию сердечной мышцы отвечают те же гены, которые в процессе эмбриогенеза контролируют формирование кровеносной системы. Было показано, что восстановление утраченных тканей обеспечивают стволовые клетки [26]. Помимо этого группа испанских ученых с помощью жидкого азота вызывала у *Danio rerio* повреждения сердечной мышцы, схожие с теми, что наблюдаются во время инфаркта миокарда. По результатам данного исследования выяснилось,

что за 4 мес ткани и функции сердца полностью восстанавливаются [27].

На данный момент известны гены, отвечающие за регенерацию спинного мозга. Кеннет Посс и его коллеги установили 12 генов, которые активируются после повреждения, также они выяснили, что при этом в клетках, обеспечивающих работу нейронов, резко повышается количество фактора роста соединительной ткани (CTGF). За 2 нед эти клетки образуют «мостик» на поврежденном участке и далее появляются нейроны. У рыб с подавленным синтезом белка CTGF спинной мозг не восстанавливался. У людей есть аналогичный белок, который на 90 % совпадает с белком рыбы. В ходе эксперимента также было установлено, что при введении рыбкам с подавленным синтезом данного белка человеческого аналога регенерация происходит быстрее, чем при естественном синтезе [28].

Изучение мышц

Danio rerio был моделью для изучения становления мышечной ткани в процессе эмбриогенеза. В 1996 г. впервые была представлена дифференциация мышечной ткани в процессе развития. Исследования миогенеза *Danio rerio* показали, что на время личиночной стадии преобладает доля медленных волокон, но в процессе роста, наоборот увеличивается доля быстрых мышечных волокон. На черепе медленные и быстрые мышечные волокна на протяжении всей жизни находятся примерно в равном количестве и располагаются они мозаично [29]. Это обусловлено разобщенностью их формирования. Как показали исследования, миогенез *Danio rerio* начинается еще до формирования сомитов. В мезодерме изначально образуются поверхностные, медленно сокращающиеся волокна, а уже потом в сомите образуются срединные быстрые мышечные волокна [30].

Особенно актуально исследование мышечной системы для понимания механизмов межклеточных взаимодействий и регуляции распределения мышечных волокон в процессе развития. На данный момент известно, что для запуска формирования медленных волокон необходима активация сигнального пути Hedgehog. В осевых структурах *Danio rerio* экспрессируются 3 белка семейства Hedgehog: Shh-a, Ihh-b и Shh-b, которые направляют специализацию мышечных клеток. В адаксиальных клетках в ответ на сигнал Hedgehog активируется экспрессия белка Prdm1, который репрессирует транскрипцию Sox6 (главный репрессор генов медленных волокон) и некоторых других генов белков-регуляторов быстрых волокон [31]. Адаксиальные клетки мигрируют в радиальном направлении от ното хорда после завершения специализации. Далее образуются быстрые мышечные

волокна, на этом этапе важную роль играет белок Six1. В эмбрионах с нарушениями в экспрессии Six1 образование волокон быстрого типа происходит с задержкой [30]. Роль Sox6 в миогенезе в целом сохраняется при переходе от *Danio rerio* к млекопитающим. Однако специализация мышечных волокон в эмбриогенезе *Danio rerio* отличается от других позвоночных. Функции консервативного для позвоночных гена *Prdm1* в миогенезе отличаются у мышей, птиц и *Danio rerio* [32].

Исследования крови

Danio rerio активно используют для изучения молекулярных основ кроветворения. Но вопрос о том, насколько уместно использовать полученную информацию по отношению к млекопитающим, остается открытым. Как и у всех позвоночных, становление кровеносной системы в эмбриогенезе у *Danio rerio* начинается с эритропоэза [33]. Эритроциты рыб ядерные эллиптической формы (как правило, 7×10 мкм). У взрослых особей эритропоэз происходит преимущественно в почках и частично в селезенке [34]. Помимо эритроцитов в крови *Danio rerio* также обнаружены гранулоциты, моноциты, лимфоциты и тромбоциты, схожие с человеческими [33].

Что касается изучения факторов регуляции кроветворения, то наблюдаются как явные сходства между рыбками и другими позвоночными, так и различия. Например, эритропоэтин и его рецептор у *Danio rerio* по своему составу мало схожи с аналогичным гормоном у млекопитающих, и исследования показали, что человеческий гомолог не активен в рыбе. Однако основные функциональные участки идентичны [35]. На данный момент *Danio rerio* активно используют для изучения течения различных заболеваний крови: миелолейкоза [36], тромбоза [37] и т.д.

Исследования костной системы

Danio rerio сравнительно недавно начали использовать как модель изучения костной системы. Это связано с существенными различиями костей рыб и других позвоночных, в частности млекопитающих. Например, плотность остеоцитов в костях рыб может существенно отличаться от таковой у млекопитающих. При этом наблюдаются также различия их концентрации в самом скелете. Так, например, в чешуе и лучах плавников их совсем нет. Отсутствие остеоцитов у современных костистых рыб связано с измененной морфологией и резорбцией костной ткани. В отличие от млекопитающих, у *Danio rerio* практически отсутствует эндохондриальное окостенение, и, кроме того, у всех костистых рыб тела позвонков развиваются без хрящевых предшественников [38]. Однако в совокупности наблюдается сходство молекулярных механизмов образования

костной ткани, так, например, у млекопитающих в дифференциации остеобластов участвует ген *Runx 3*, а у рыб его аналог *runx2b* [39].

Регуляция кальция в плазме крови имеет важное значение для всех наземных позвоночных. Однако у костистых рыб, в отличие от наземных позвоночных, скелет не используется в качестве источника кальция. Все необходимые вещества поступают извне [38].

Как уже упоминалось выше, *Brachidanio rerio* обладает уникальными регенеративными способностями, изучение процессов которых дает надежду на лечение различных заболеваний человека, в том числе связанных с костями. Ученые выяснили, что регенерация костей рыбок (на примере хвостового плавника) происходит в 2 этапа. Сначала «остаточные» костные клетки преобразуются в стволовые, а уже потом из стволовых образуются новые клетки. Было установлено, что эти процессы происходят за счет сигнального пути Wnt, который обеспечивает сообщение между клетками и регулирует дифференцировку тканей, и при участии белков BMP [40]. Другие исследования показали, что при переломе нижней челюсти щель сначала заполняется хрящевой тканью, образованной стволовыми клетками, которые в обычном состоянии обеспечивают поддержку костной массы. Затем в хондроцитах активируются гены *Hedgehog* (например, *Ihh-a*), которые активируют остеобласты. У рыб с низкой активностью этих генов регенерация не наблюдалась [41]. Эти исследования подтверждают идею о том, что в процессе регенерации лежат механизмы, сходные с теми, что происходят при формировании тканей в эмбриогенезе.

Несмотря на множество довольно существенных различий, исследования последних лет показали возможность использования *Danio rerio* в целях выяснения причин и процессов различных человеческих заболеваний костной системы. Так, например, изучение *Danio rerio* позволило определить генетические факторы возникновения сколиоза. Группе ученых из Японии удалось выявить влияние гена *LBX 1* на формирование костей позвоночника. Оказалось, что его высокая активность на этапе личинки приводит к деформации позвонков и дальнейшему искривлению позвоночника, тогда как повышение экспрессии генов *wnt5b* и *RhoA* ведет к улучшению состояния, из чего был сделан вывод, что избыток *LBX 1* препятствует их активности и нормальному развитию позвонков [27].

При помощи *Danio rerio* ученые выяснили, что одной из причин остеопороза является мутация гена (*PLS3*), которая отвечает за формирование и развитие костной ткани. Группа ученых под руководством Брунгильды Вирт провели эксперимент, при котором подавили активность данного гена у эмбрионов *Danio rerio*, в результате чего развитие

черепно-лицевой части скелета практически остановилось, однако после введения им человеческого аналога данного гена скелет в скором времени восстановился. Также в ходе эксперимента выяснилось, что белки актинин 1 и актинин 4 способны компенсировать мутации, ведущие к ущемлению функций *PLS3*. Последующие эксперименты на мышах подтвердили данные результаты [43].

В обзоре «A bone to pick with zebrafish» убедительно обосновывается адекватность *Danio rerio* в качестве модели для исследования различных костных патологий, являющихся серьезными генетическими расстройствами, таких, в частности, как синдром Рэйна, фибродисплазия и др. Как и другие жизненно важные органы, кости только однажды вошли в процесс эволюции. Поэтому многие гены-регуляторы остеогенеза очень консервативны и имеют сходные функции и у костистых рыб, и у амниот, в том числе у человека.

Авторы делают обоснованный вывод, что, хотя мыши и остаются наиболее адекватной моделью для исследования остеогенеза, *Danio rerio* обеспечивают оценку новых функций генов, имеющих значение для формирования костной ткани, а также возможность визуализации остеобластов и остеокластов *in vivo* [44].

Особый интерес для нас при работе над обзором представляли работы, связанные с изучением скелета и механизмами перестройки в костной ткани в невесомости. Эта тема актуальна и имеет большое практическое значение, поскольку у космонавтов и астронавтов наблюдалось снижение минеральной плотности кости. Схожие проблемы наблюдаются и у рыб. Это подтвердил эксперимент с другими рыбками – *Oryzias latipes*. В течение первых суток в невесомости у рыбок увеличилась активность 105 генов, а у 49 снизилась в сравнении с контрольной группой на Земле. Из этих генов 5 связаны с развитием клеток скелета, а именно регулируют выработку факторов транскрипции, которые участвуют в развитии остеобластов и остеокластов. В нормальных условиях эти гены вступают в работу в разное время, поэтому данные изменения серьезно сказались на структуре костной ткани [45].

Работа выполнена в рамках базовой темы РАН № 65.1.

Список литературы

1. Копладзе Р.А. Работа с лабораторными животными в контексте биоэтики – история, современность, перспективы // Успехи физиологических наук. 2004. Т. 35. № 2. С. 92–109.

- Kopladze R.A. Working with laboratory animals in the context of bioethics – history, modernity, perspectives // *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*. 2004. V. 35. № 2. P. 92–109.
2. Taylor K., Gordon N., Langley G., Higgins W. Estimates for worldwide laboratory animal use in 2005 // *ATLA* 2008. V. 36. P. 327–342.
3. A Global View of Animal Experiments, 2014 URL: <http://www.lushprize.org/wp-content/uploads/Global View of Animal Experiments, 2014.pdf>.
4. Жизнь животных. Т. 4. Ч. 1. Рыбы / Т.С. Расс, ред. М., 1971.
- The life of animals. V. 4. P. 1. Fish / T.S. Rass, ed. Moscow, 1971.
5. Ильин М.Н. Аквариумное рыбоводство. М., 1965. Ilyin M.N. Aquarium fish farming. Moscow, 1965.
6. Медведев Л.И. Аквариум. Воронеж, 1989. Medvedev L.I. Aquarium. Voronezh, 1989.
7. Spence R., Gerlach G., Lawrence Ch., Smith C. The behaviour and ecology of the zebrafish, *Danio rerio* // *Biol. Rev.* 2008. V. 83. P. 13–34.
8. Westerfield M. The zebrafish book: A guide for the laboratory use of zebrafish (*Danio rerio*), 4th ed. University of Oregon Press, Eugene, 2000.
9. Gerhard G.S. Comparative aspects of zebrafish (*Danio rerio*) as a model for aging research // *Experim. Gerontol.* 2003. V. 38. P. 1333–1341.
10. Franklin W. Stahl George Streisinger. 1927–1984. Biographical Memoir. Washington, D.C., 1995. P. 351–361.
11. Kimmel C.B., Eaton R.C., Powell S.L. Decreased fast-start performance of zebrafish (*Brachydanio rerio*) larvae lacking Mauthner neurons // *J. Comp. Physiol. A*. 1980. V. 140. P. 343–350.
12. Mullins C., Hammerschmidt M., Haffer P., Nüsslein-Volhard Ch. Large-scale mutagenesis in the zebrafish: in search of genes controlling development in a vertebrate // *Cur. Biol.* 1994. V. 4. Is. 3. P. 189–288.
13. Grunwald D.J., Eisen J.S. Headwaters of the zebrafish – emergence of a new model vertebrate // *Nat. Rev. Genet.* 3. 2002. P. 717–724.
14. ZFIN: The Zebrafish Information Network. [электронный ресурс]. URL: <http://zfin.org/>. (Дата обращения 26.04.2017).
15. White R.M., Sessa A., Burke C. et al. Transparent adult zebrafish as a tool for in vivo transplantation analysis // *Cell Stem Cell*. 2008. V. 2. Is. 2. P. 183–189.
16. Chen C., Puliafito A., Cox B.D. et al. Multicolor cell barcoding technology for long-term surveillance of epithelial regeneration in zebrafish // *Develop. Cell*. 2016. V. 36. № 6. P. 668–680.
17. Kaufman C.K., Mosimann C., Peng Fan Z. et al. A zebrafish melanoma model reveals emergence of neural crest identity during melanoma initiation // *Science*. 2016. V. 351. № 6272. DOI: 10.1126/science.aad2197.
18. Muto A., Ohkura M., Abe G. et al. Real-time visualization of neuronal activity during perception // *Cur. Biol.* 2013. V. 23. P. 307–311.
19. Goldsmith P., Solari R. The role of zebrafish in drug discovery // *Drug Discovery World*. Spring. 2003. P. 74–78.
20. Keller P.J. Reconstruction of zebrafish early embryonic development by scanned light sheet microscopy // *Science*. 2008. V. 322. P. 1065–1069.
21. Serwane F., Mongera A., Rowghanian P. et al. In vivo quantification of spatially varying mechanical properties in developing tissues // *Nature Methods*. 2017. V. 14. № 2. P. 181–189.
22. Bryson-Richardson R., Berger S., Currie P. Atlas of Zebrafish Development. Academic Press, 2012.
23. Sanger Centre to sequence zebrafish genome in new Wellcome Trust Initiative // Press Office, 21 Nov. 2000. URL: <http://www.sanger.ac.uk/news/view/2000-11-21-sanger-centre-to-sequence-zebrafish-genome-in-new-wellcome-trust-initiative>.
24. Howe K., Clark M.D., Torroja C.F. et al. The zebrafish reference genome sequence and its relationship to the human genome // *Nature*. 2013. V. 496. P. 498–503.
25. Rao M.B., Didiano D., Patton J.G. Neurotransmitter-regulated regeneration in the zebrafish retina // *Stem Cell Reports*. 2017. V. 10.
26. Poss K.D., Wilson L.G., Keating M.T. Heart regeneration in zebrafish // *Science*. 2002. V. 298. P. 2188–2190.
27. Rodius S., Nazarov P.V., Nepomuceno-Chamorro I.A. et al. Transcriptional response to cardiac injury in the zebrafish: systematic identification of genes with highly concordant activity across in vivo models BMC // *Genomics*. 2014. V. 15. URL: <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/15/852>.
28. Mokalled M.H., Patra C., Dickson A.L. et al. Injury-induced *ctgfa* directs glial bridging and spinal cord regeneration in zebrafish // *Science*. 2016. V. 354. P. 630–634.
29. Hernandez L.P., Patterson S.E., Devoto S.H. The development of muscle fiber type identity in zebrafish cranial muscles // *Anat. Embryol. (Berl.)*. 2005. V. 209. № 4. P. 323–334.
30. Devoto S.H., Melançon E., Eisen J.S., Westerfield M. Identification of separate slow and fast muscle precursor cells in vivo, prior to somite formation // *Development*. 1996. V. 122. P. 3371–3380.
31. Feng X., Adiante E.G., Devoto S.H. Hedgehog acts directly on the zebrafish dermomyotome to promote myogenic differentiation // *Dev. Biol.* 2006. V. 300. P. 736–746.
32. Копанцева Е.Е., Белявский А.В. Регуляторы скелетно-мышечного миогенеза // *Молекулярная биология*. 2016. Т. 50. № 2. С. 195–222.
- Kopantseva E.E., Belyavsky A.V. Regulators of musculoskeletal myogenesis // *Molekulyarnaya biologiya*. 2016. P. 50. № 2. P. 195–222.
33. Brownlie A., Zon L. The zebrafish as a model system for the study of hematopoiesis // *BioScience*. 1999. V. 49. P. 382–392.
34. Bennett C.M., Kanki J.P., Rhodes J. et al. Myelopoiesis in the zebrafish, *Danio rerio* // *Blood*. 2001. V. 98. P. 643–651.
35. Carradice D., Lieschke G.J. Zebrafish in hematology: sushi or science? // *Ibid*. 2008. V. 111. P. 3331–3342.

36. Ye Y., Xu X., Liu Q. Establishment of a xenotransplantation acute myeloid leukemia model using by zebrafish // Ibid. V. 128. Published online: December 1, 2016. The American Society of Hematology Table of Contents. 2016. P. 5770.
37. Jagadeeswaran P. Zinc fingers poke zebrafish, cause thrombosis // Ibid. 2014. V. 126. P. 9–10.
38. Apschner A., Schulte-Merker S., Wittenz P.E. Not all bones are created equal – using zebrafish and other teleost species in osteogenesis research // The Zebrafish: disease models and chemical screens, 2011. V. 105. Oxford, P. 239–255.
39. Aceto J., Nourizadeh-Lillabadi R., Marée R. et al. Zebrafish bone and general physiology are differently affected by hormones or changes in gravity // PLOS ONE. 2015. V. 6. № 2. DOI: 10.1371/journal.pone.0126928. June 10, 2015.
40. Stewart S., Gomez A.W., Armstrong B.E. et al. Sequential and opposing activities of Wnt and BMP coordinate zebrafish bone regeneration // Cell. 2014. V. 6. P. 482–498.
41. Paul S., Schindler S., Giovannone D. et al. Ihha induces hybrid cartilage-bone cells during zebrafish jawbone regeneration // The Company of Biologists: Development. 2016. V. 143. P. 2066–2076.
42. Kou-Ray L., Hsin-Fang Y., Huang-Wei L. et al. Murine tribbles homolog 2 deficiency affects erythroid progenitor development and confers macrocytic anemia on mice // Scientific Reports. 2016. V. 6. № 31444.
43. Dijk F.S., Zillikens M.C., Micha D. et al. PLS3 mutations in X-linked osteoporosis with fractures // N. Engl. J. of Med. 2013. V. 369. № 16.
44. Mackay E.W., Apschner A., Schulte-Merker S. A bone to pick with zebrafish // BoneKEy Reports. 2013. V. 2. № 445.
45. Chatani M., Morimoto H., Takeyama K. et al. Acute transcriptional up-regulation specific to osteoblasts/osteoclasts in medaka fish immediately after exposure to microgravity // Scientific Reports. 2016. V. 6. DOI: 10.1038/srep39545.

Поступила 14.03.2018

DANIO RERIO AS A MODEL FOR RESEARCH

**Lukicheva N.A., Kabitskaya O.E.,
Vasilieva G.Yu., Sychev V.N.**

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 4. P. 17–23

Experimental biology and medicine cannot do away with laboratory animals. There are about 250 vertebral species used for various investigations; according to the data published in 2005, more than 70 % of experiments are carried out with mice. However, search for adequate «convenient» models is being continued.

G. Strteisinger discovered Danio rerio (zebrafish) for science. His colleague C. Kimmel who investigated zebrafish genetics and embryogenesis showed that its development corresponds to the universal pattern of early development of any vertebral organism.

The growing popularity of the fish stems from a comparatively fast reproduction and development, unpretentiousness, easiness of maintenance, and relative cheapness. At the beginning of life it is transparent and, therefore, does not need preparation before examination under a microscope.

Over recent decades, Danio rerio showed off its suitability as a model organism. It possesses a number of advantages completing the data obtained with other models (mice, rats etc.) and implying its broad applicability in investigations of vertebrates.

Danio rerio physiology and genetic make-up in many respects are similar to human, the skeleton and mineralizing tissues are not excluded. Despite some systemic physiological differences between the mammals and bony fishes, and a relatively short Danio rerio history as a bone tissue model, in osteology it can be a source of useful information in addition to experiments with mice.

Key words: experimental animals, Danio rerio, ontogenesis, regeneration, osteogenesis.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 57.087.1

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Переведенцев О.В., Орлов О.И., Леванов В.М.

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

E-mail: perevol@imbp.ru

Статья посвящена анализу работы искусственной нейронной сети по оценке данных дистанционного медицинского контроля участников изоляционного эксперимента «Сириус-17», проходившего в ГНЦ РФ – Институте медико-биологических проблем в 2017 г.

Авторами предложен оригинальный алгоритм обработки данных, основанный на использовании самообучающейся многослойной искусственной нейронной сети и позволяющий прогнозировать динамику состояния с применением интегрального индекса субъективной оценки состояния здоровья.

Ключевые слова: изоляционный эксперимент, искусственная нейронная сеть, дистанционное наблюдение, алгоритм моделирования прогноза состояния.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 4. С. 24–27.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-24-27

Для успешного выполнения длительных пилотируемых межпланетных космических полетов (КП), а также обеспечения эффективной работы на околопланетных орбитальных станциях и на планетных базах необходимо обеспечить более высокий уровень автономности систем обеспечения жизнедеятельности, в том числе системы медицинского обеспечения [1].

Для этого помимо развития средств профилактики и диагностики разрабатываются и тестируются различные программно-аппаратные комплексы (ПАК), обеспечивающие мониторинг основных параметров жизнедеятельности членов экипажа, оценки состояния их здоровья, повышения эффективности использования средств оказания медицинской помощи и т.п.

В подобных ПАК применяются различные подходы к решению задач – от компьютеризации работы с бортовой документацией до автоматической диагностики состояния здоровья космонавтов. В результате бортовой врач получает набор инструментов, повышающих эффективность его работы как в направлении повышения правильности и

точности принимаемых решений, так и сокращения времени на выполнение рутинных операций [2–4]. Но если ПАК будет применяться не только в связи с уже возникшей ситуацией, а использоваться для прогнозирования изменений состояния здоровья членов экипажа, у врача экипажа появится возможность не корректировать уже возникшую угрозу, а принять превентивные меры по предотвращению ее возникновения.

Таким образом, цель данного исследования – разработка и апробация алгоритма прогнозирования состояния организма человека в условиях длительной изоляции с использованием искусственной нейронной сети на основе дистанционной регистрации объективных и субъективных физиологических параметров организма.

Методика

Для решения указанной задачи во время изоляционного эксперимента «Сириус-17», проходившего в ГНЦ РФ – Институте медико-биологических проблем в период с 7 по 24 ноября 2017 г., врачом экипажа испытуемых осуществлялась регистрация данных ежедневного медицинского контроля экипажа испытуемых из 6 человек в разработанной для данного эксперимента базе данных. Регистрируемые показатели включали количественные и атрибутивные (описательные) признаки. Всего регистрировались 15 параметров, из которых 5 – дважды в сутки (утром и вечером). После отбраковки некорректных данных было получено около 1200 учетных записей.

Определяли такие показатели, как утренняя и вечерняя температура тела, артериальное давление и частота сердечных сокращений, масса тела при утреннем взвешивании. Путем заполнения электронной анкеты каждый член экипажа указывал ряд параметров, в том числе оценивал свое здоровье (хорошее, удовлетворительное, неудовлетворительное), состояние сна (хорошее, трудности засыпания, прерывистый сон, бессонница),

степень своей усталости, аппетит, рацион, состояние желудочно-кишечного тракта и системы моче-выделения, а также указывал жалобы на здоровье (при наличии).

Наряду с основной была сформирована контрольная группа, также состоявшая из 6 человек, сравнимая по возрастному и гендерному составу. Члены этой группы регистрировали и передавали свои данные по той же программе, находясь в условиях обычной повседневной жизнедеятельности.

Статистическая обработка данных проводилась с применением параметрических статистических методов. Были рассчитаны среднее арифметическое, среднее квадратическое отклонение, ошибка репрезентативности, проведена оценка достоверности различий между средними величинами по группам. Статистически значимыми считались различия между значениями показателей при $p < 0,05$ по t-критерию Стьюдента. Для отображения результатов в статье принята форма «среднее $\pm$ среднее квадратическое отклонение».

Для оценки динамики некоторых показателей проводилось построение динамических рядов с применением метода скользящей средней.

Результаты анкеты с описательными признаками переводились в числовую форму. Для решения данной задачи авторами разработан *интегральный индекс субъективной оценки состояния здоровья (ИИСО)*, который представляет собой сумму каждого параметра анкеты при нормировании его в диапазоне от 0 до 1. При таком подходе ИИСО может принимать значения от 0, что соответствует нормальному самочувствию, до 10, что соответствует наиболее худшей оценке самочувствия. По результатам эксперимента ИИСО варьировался от 0 до 3.

Для возможности оперативного прогнозирования состояния здоровья участников эксперимента применен метод машинного обучения с использованием многослойной искусственной нейронной сети (ИНС). В дальнейшем с целью прогнозирования ИИСО было проведено моделирование на языке Python 2.7 с использованием библиотек *numpy* и *scikit-learn*. Для этого была применена многослойная ИНС, которая имела 4 узла входного слоя, 100 узлов скрытого слоя и 2 узла выходного слоя [5, 6].

В качестве входных данных использовались:

- изменение между вечерней и утренней температурой тела;
- изменение между вечерней и утренней частотой сердечных сокращений;
- изменение между вечерним и утренним средним артериальным давлением;
- текущее значение ИИСО.

Среднее артериальное давление рассчитывалось по формуле

$$\text{АДс} = \text{ДАД} + (\text{САД} - \text{ДАД})/3,$$

где АДс – среднее артериальное давление; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление.

В качестве выходных данных ИНС выдавала вероятность, что ИИСО на следующие сутки будет в диапазоне от 0 до 1,5, что соответствовало состоянию «норма», или выше 1,5, что соответствовало состоянию «не норма».

В качестве функции активации, вычисляющей выходной сигнал искусственного нейрона, использовалась функция гиперболического тангенса.

Результаты и обсуждение

Для оценки точности работы ИНС была проведена 15-блочная перекрестная проверка, в результате чего средняя правильность ИНС оказалась на уровне 0,73 при значении среднеквадратического отклонения 0,03, т.е. ИНС с вероятностью 73% смогла предсказать уровень ИИСО для каждого члена экипажа испытателей.

Данные контрольной группы были обработаны аналогично, и результаты 15-блочной перекрестной проверки дали сходные результаты – средняя правильность на уровне 0,76 при значении среднеквадратического отклонения 0,05.

Однако ИНС, обученная на данных экипажа испытателей эксперимента «Сириус-17», при обработке результатов исследования контрольной группы позволила получить точность не более 0,241. ИНС, обученная на данных контрольной группы, при обработке показателей экипажа испытателей эксперимента «Сириус-17» давала прогноз с точностью не более 0,273. Исходя из полученных результатов, на настоящий момент ИНС, обученную на одной группе людей, пока нельзя использовать для обработки данных другой группы.

Для будущей практической реализации предложен следующий алгоритм использования ИНС:

- 1) за первые 2 сут эксперимента формируются обучающий набор из 4 параметров для каждого члена экипажа и проводится первичное обучение ИНС;
- 2) начиная с $i = 3$ (3-х суток) новые суточные данные предъявляются ИНС в качестве тестового набора для получения прогноза ИИСО для каждого члена экипажа;
- 3) в результате врач экипажа получает вероятностные оценки уровней ИИСО на $i + 1$ сут;
- 4) данные за i сут добавляются в обучающий набор данных, и алгоритм переходит к п. 2.

В результате обеспечивается постоянное дообучение ИНС на основе новых данных, что теоретически должно увеличивать правильность ее прогнозов.

Был проведен анализ средних величин параметров объективного контроля в основной и

Таблица

Данные объективных показателей в основной и контрольной группах

Параметр	Основная группа		Контрольная группа	
	М	СКО	М	СКО
ЧСС, утро	66	7	71	3
ЧСС, вечер	66	7	70	2
САД, утро	114	11	115	4
САД, вечер	119	11	116	3
ДАД, утро	78	7	72	4
ДАД, вечер	79	6	72	3
ТТ, утро	36,5	0,3	36,6	0,1
ТТ, вечер	36,6	0,3	36,6	0,1
ЧД	15	2	16	1
МТ	68	16	67	12

контрольной группах. Все средние значения регистрируемых параметров находились в пределах физиологической нормы. Так, например, средние значения частоты сердечных сокращений (ЧСС), измеренной утром, в основной группе составили 66 ± 7 сокращений в минуту, в контрольной группе – 71 ± 3 , вечером – 66 ± 7 и 70 ± 2 соответственно.



Рисунок. Результат моделирования ИИСО с оценкой точности ИНС по суткам эксперимента (основная группа)

Наибольшие различия были получены по параметру ДАД, измеренному вечером: 79 ± 6 мм рт. ст. в опытной группе и 72 ± 3 мм рт. ст. в контрольной группе ($p < 0,05$). Изменений ДАД в течение суток не отмечали – в основной группе утреннее и вечернее ДАД составляло 78 ± 7 и 79 ± 6 мм рт. ст., в контрольной группе – 72 ± 4 и 72 ± 3 мм рт. ст. соответственно. При этом все уровни АД соответствуют

нормальным значениям. Значения регистрируемых объективных параметров представлены в таблице.

Как видно из таблицы, обе группы не имели достоверных различий по всем учитываемым признакам (параметрам), что свидетельствовало об относительной однородности участников.

В соответствии с описанной выше методикой с использованием многослойной ИНС на данных эксперимента «Сириус-17» был смоделирован алгоритм прогнозирования ИИСО, результаты которого показаны на рисунке. При моделировании осуществлялось обучение и тестовый прогон ИНС для случайных значений инициализации весов, в результате чего вычислялась средняя правильность работы ИНС и среднеквадратическое отклонение (СКО). Как следует из рисунка, до 7-х суток среднеквадратическое отклонение достаточно велико, однако с увеличением обучающей выборки правильность не снижается ниже 0,65, а СКО пренебрежимо мало.

Безусловно, материалы статьи носят предварительный характер, поскольку метод прошел апробацию на ограниченном количестве наблюдений, однако полученные результаты позволяют продолжить работу над методикой. Требуется исследования вопрос: можно ли обучать ИНС на данных, получаемых в одних условиях, например, во время подготовки космонавтов к полету, и использовать подобную ИНС для оперативного прогнозирования состояния здоровья членов космического экипажа во время полета?

Выводы

1. Предложенный способ позволяет с достаточной точностью предсказать уровень индекса субъективной оценки состояния здоровья для оказания поддержки в принятии решения врачом экипажа.
2. Достоинством метода является то, что в нем предусмотрено автоматическое обучение сети в процессе эксплуатации, повышая точность ее работы, что увеличивает эффективность метода в условиях длительных экспериментов и позволяет продолжить работу по совершенствованию методики в последующих экспериментах.
3. В перспективе методика, основанная на разработанном авторами алгоритме прогнозирования интегрального индекса субъективной оценки состояния здоровья, может быть адаптирована для нужд практического здравоохранения и использоваться при дистанционном наблюдении за пациентами в период реабилитации в условиях стационара на дому.

Работа выполнена в рамках базовой темы РАН, раздел 65.1.

Список литературы

1. Григорьев А.И., Орлов О.И., Потапов А.Н. Концепция разработки системы телемедицинского обеспечения марсианской экспедиции // *Авиакосм. и экол. мед.* 2005. Т. 39. № 4. С. 19–24.

Grigoriev A.I., Orlov O.I., Potapov A.N. Concept of the telemedicine system for a Martian mission // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2005. V. 39. № 4. P. 19–24.

2. Душенко А.Г., Арестов Д.С., Котов А.Г., Горбачев Е.Б. Многофункциональная информационная система поддержки действий экипажа // *Программные продукты и системы*. 2013. № 3. С. 54–61.

Dushenko A.G., Arestov D.S., Kotov A.G., Gorbachev E.B. Multifunctional crew activity support information system // *Programmnye produkty i sistemy*. 2013. № 3. P. 54–61.

3. Кравченко С.И., Андреев Д.А., Брунько Д.В., Горбачев Е.Б. Бортовой комплекс многофункциональной информационной системы Международной космической станции (российский сегмент) // *Там же*. 2015. № 4 (112). С. 45–47.

Kravchenko S.I., Andreev D.A., Brunko D.V., Gorbachev E.B. The onboard multifunctional information complex of the International space station (Russian section) // *Ibid.* 2015. № 4 (112). P. 45–47.

4. Литвина Д.В. Разработка системы поддержки принятия решения при обеспечении безопасности космонавтов в длительном космическом полете: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2017.

Litvina D.V. Development of a decision support system for ensuring the safety of cosmonauts in long-term space flight: *Avtoreferat dissertatsii ... kandidata tekhnicheskikh nauk*. Moscow, 2017.

5. Лопин В.Н., Прилуцкая И.Е. О нейросетевом подходе поддержки принятия решений амбулаторно-поликлиническими службами // *Вестник новых медицинских технологий*. 2006. Т. 13. № 2. С. 160–161.

Lopin V.N., Prilutskaya I.E. About the neural network approach of decision support by outpatient services // *Vestnik novykh meditsinskih tekhnologiy*. 2006. V. 13. № 2. P. 160–161.

6. Золин А.Г., Силаева А.Ю. Применение нейронных сетей в медицине // *Актуальные проблемы науки, экономики и образования XXI века: Сб.* 2012. С. 264–271. URL: <http://bgscience.ru/lib/10934>.

Zolin A.G., Silaeva A.Yu. Application of neural networks in medicine // *Actual problems of science, economics and education of the XXI century*. 2012. P. 264–271. URL: <http://bgscience.ru/lib/10934>.

Поступила 26.01.2018

ON THE DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL COMPONENTS OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MEDICAL CARE IN MANNED SPACE EXPLORATION MISSIONS

Perevedentsev O.V., Orlov O.I., Levanov V.M.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 4. P. 24–27

The paper is dedicated to analysis of artificial neuron network efficiency in processing the data of remote medical monitoring of participants in the «Sirius-17» analog study conducted by IBMP in 2017.

The authors propose an ingenious DP algorithm involving a self-learning multilayer artificial neuron network (ANN) capable to predict health dynamics with the help of an integral index of subjective health assessment.

Key words: analog study, artificial neuron network, remote monitoring, algorithm of health prediction modeling.

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЩЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННОГО МЕЖДУНАРОДНОГО ЭКИПАЖА С ВНЕШНИМИ АБОНЕНТАМИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

Файхтингер Е.Л.

Секретариат Международной федерации астронавтики, Париж, Франция

E-mail: d.shved84@gmail.ru

В гермокамерном эксперименте, моделирующем условия 520-суточной межпланетной экспедиции, изучались характеристики общения членов международного экипажа с внешними коммуникантами. Оценивались особенности использования членами экипажа различных средств связи и передачи информации, а также их информационные потребности. Проводилась количественная оценка характеристик рабочей и личной коммуникации, включая анализ содержания неприватных сообщений. Было показано, что объем личной коммуникации членов экипажа в среднем существенно превышал объем рабочей коммуникации, причем это было более характерно для европейских участников. Для членов экипажа из Западной Европы была характерна потребность в существенно большем объеме личной коммуникации и в получении информации из «внешнего мира», чем для российских и китайского участников. Кроме того, для европейских членов экипажа также представлялось более значимым освещение событий эксперимента в СМИ и современных средствах массовой коммуникации (интернет, социальные сети). Можно заключить, что принцип «паритета» в психологической поддержке для членов международного экипажа, часть из которых находится в непривычной среде в роли «гостей», должен выполняться с условием учета их культурологических различий и культурно-обусловленных информационных потребностей.

Ключевые слова: гермокамерный эксперимент, автономность, международный экипаж, информационные потребности, коммуникация, психологическая поддержка.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 4. С. 28–33.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-28-33

Как известно, пребывание в условиях космического полета (КП), равно как и моделирующего его эксперимента с длительной изоляцией, сопряжено с недостатком привычных сенсорных раздражителей (сенсорная депривация), монотонией, существенным ограничением связи с внешним миром и привычным кругом общения, а также с дефицитом информационного контента, доступного в обычных условиях современной информационной среды [1]. Кроме того, выполнение программы полета

(гермокамерного эксперимента) предполагает необходимость выполнения сложных задач и принятия своевременных решений в условиях ограниченности средств внешней поддержки.

Вместе с тем информационная нагрузка со стороны Центра управления и исследователей, заинтересованных в выполнении научной программы (информирование о необходимости выполнения различных процедур, запросы отчетов о выполнении), может быть неадекватна специфике коммуникативных потребностей членов экипажа. Согласно теории информационного стресса [2, 3], патологическое состояние в вегетосоматической сфере (состояние дистресса) может сформироваться как в случае необходимости обработки больших объемов информации при дефиците времени, так и в условиях дефицита необходимой информации. Ввиду этого одной из важных задач психологической поддержки космических экипажей и экипажей гермокамерных экспериментов представляется создание благоприятной для них информационной среды [4]. Кроме того, изучение информационных потоков между экипажем и внешним миром (количество и, по возможности, содержание радиogramм, писем, отчетов), отражающих специфику потребностей членов экипажей в различном информационном контенте (новостях, медиаресурсах) и их реакций на поступающую информацию, лежит в основе разработанной в ГНЦ РФ – ИМБП РАН системы медико-психологического мониторинга [5].

Особенности мотивационно-потребностной сферы, в том числе информационных и коммуникативных потребностей, определяются как индивидуальными, так и культурно обусловленными личностными особенностями человека. Культурологические особенности проявляются также в характеристиках коммуникации с другими людьми, которую, в свою очередь, можно представить как процесс обмена информацией [6]. В течение долгого времени, предшествовавшего эпохе Международной космической станции (МКС), международные КП были, за редким исключением, краткосрочными (продолжительностью около 1 нед), однако уже в них встала проблема

межкультурной коммуникации в экипаже. При этом, отличительной особенностью полетов по программам «Интеркосмос» и «Мир» – «Шаттл» являлось то, что зарубежные астронавты и космонавты в течение некоторого времени жили и работали на российской (советской) станции в положении «гостей», в то время как российские космонавты выступали в роли «хозяев». У «гостей» при этом отмечались случаи психологического дискомфорта, связанного с непривычной культурной и информационной средой, неизбежными затруднениями в межнациональном взаимодействии и нехваткой привычных контактов, что повышало роль поддержки со стороны психологов Центра управления полетами (ЦУП) и сеансов общения с близкими [7, 8]. Значимость влияния культурологических различий на коммуникацию с ЦУП и информационные потребности была показана в международном модельном эксперименте SFINCSS-99 [9], в котором проблемы в коммуникации между экипажем и ЦУП привели к возникновению конфликтной ситуации. Для того чтобы подобные ситуации не стали препятствием при реализации международных космических проектов (в частности, межпланетных полетов), необходимо их тщательное изучение в модельных условиях и разработка рекомендаций для служб психологической поддержки международных экипажей.

Целью данной работы является комплексное изучение особенностей влияния культурной (в данном случае, национальной) принадлежности участников длительного гермокамерного эксперимента с высокой степенью изоляции и автономности на их информационные потребности и коммуникацию с внешним миром.

Были сформулированы следующие гипотезы:

1. Имеются отличия в коммуникации людей с различными культурно-обусловленными предпочтениями.

2. У членов экипажа, находящихся в непривычной культурологической среде («вдали от родного дома»), отмечаются более высокие потребности:

- а) в получении информации о происходящем во «внешнем мире» (в частности, на родине);
- б) в общении с конфидентами;
- в) в приватности и безопасности.

3. Компенсация группой психологической поддержки возрастающих информационных потребностей членов экипажа, находящихся в непривычной культурологической среде, может приводить к нарушению принципа равенства (паритета) по отношению к части экипажа, получающей меньшее количество информационного контента, и, как следствие – к возникновению психологической напряженности и конфликтных ситуаций между экипажем и ЦУП.

4. Имеются культурно обусловленные различия между членами экипажа в потребности

освещения их роли в эксперименте в массмедиа, а также в ожидаемом ими влиянии медиа-освещения на их жизнь после эксперимента.

Методика

На 1-м этапе проекта «Марс-500» («Марс-105») была апробирована методология отбора, подготовки и психологической поддержки членов экипажа международного модельного эксперимента [10]. Результаты применения данной методологии были учтены на основном 520-суточном этапе проекта. В частности, впервые в истории международных модельных экспериментов была сформирована международная группа психологической поддержки экипажа, состоявшая из подгрупп поддержки российской и европейской частей экипажа.

Организация коммуникации «экипаж – Земля» в эксперименте «Марс-500»

Важной отличительной особенностью эксперимента «Марс-500» являлось то, что в течение основной части эксперимента экипаж не имел прямой связи с Центром управления (ЦУ), поскольку моделировалась задержка связи между пилотируемым комплексом и Землей. В целом коммуникацию экипажа с «Землей» можно разделить на 2 основные составляющие: рабочую (операционную) и личную (приватную). Через канал «рабочей» связи экипаж получал инструкции по выполнению работ, либо запросы информации, преимущественно в текстовом формате, традиционно называемом «радиограммами». В свою очередь, экипаж регулярно передавал ЦУ сообщения (текстовые или видео) о его состоянии, результатах регулярного медицинского обследования, данных по научным экспериментам и т.д.

Личная переписка членов экипажа осуществлялась через психолога, который являлся их доверенным лицом. Текстовые, аудио- и видеосообщения автоматически, посредством установленного в ЦУ сервера, пересылались между электронными почтовыми ящиками членов экипажа и психолога Европейского космического агентства (ЕКА). Перед отправкой каждого пакета сообщений производилось их сжатие в архивы и шифрование с целью обеспечения конфиденциальности. Следует отметить, что шифрование, как и некоторые другие меры обеспечения приватности коммуникации в основном использовалось европейскими членами экипажа по их желанию, в то время как личные коммуникации российских и китайского членов экипажа обычно осуществлялись в незашифрованном виде.

Другим важным элементом связи с внешним миром, а также средством удовлетворения информационных потребностей, являлось предоставление

экипажу текущих новостей, производившееся группой психологической поддержки. Желаемый формат новостных материалов (в текстовом виде, аудио, видео), тематика, язык (родной, английский, русский), конкретные источники (газеты, радио, ТВ, Интернет и т.д.), а также частота предоставления новостей согласовывались с каждым членом экипажа перед началом и в ходе изоляции для удовлетворения индивидуальных потребностей и предпочтений.

Представляется важным, что европейские участники эксперимента использовали дополнительные средства обмена информацией с большим числом абонентов – блоги и микроблоги в сети Интернет. Регулярные сообщения от лица экипажа вызвали большой общественный интерес, который, в свою очередь, являлся одним из факторов, повышающих мотивацию участников эксперимента. Ввиду невозможности доступа к сети Интернет из гермокамер, сообщения экипажа для сетевых СМИ, а также отклики и вопросы читателей также передавались через ответственного психолога. Кроме того, психологом ЕКА осуществлялся сбор (в том числе при помощи специально разработанных программных средств) и передача европейским членам экипажа запрашиваемой ими информации из сети Интернет.

Методология изучения коммуникации

В течение всего периода изоляции проводилась количественная оценка общения участников эксперимента с внешними абонентами, а также информационных потребностей членов экипажа при отсутствии современных средств коммуникации (Интернет, мобильная связь). Оценивались характеристики личной переписки членов экипажа, а также информации, передаваемой экипажу группой психологической поддержки (новости, медиаконтент). Содержание личной переписки не было доступно для изучения по этическим причинам, однако сохранялась возможность оценки количественных характеристик пересылаемых сообщений (число и объем). Таким образом, были получены уникальные данные, отражающие психологическое состояние членов экипажа, включая состояние мотивационно-потребностной сферы.

Для изучения общения экипажа с ЦУ применялся компьютеризованный контент-анализ их сообщений (в модификации В.И. Гущина, А.К. Юсуповой, Д.М. Шведа [11, 12]). Контент-анализ – систематический, воспроизводимый метод сведения массива текста к ограниченному количеству категорий с помощью внешних, заранее заданных и обоснованных правил кодирования [13, 14]. Поскольку метод является количественным и достаточно легко формализуемым, возможна компьютеризация метода. Это позволяет повысить его объективность и оперативность. При помощи лингвистического

программного обеспечения с установленным исследователями набором настроек (программное обеспечение NooJ [15]) производился подсчет частоты использования определенных семантических единиц (слов, словосочетаний), относящихся к психологически релевантным категориям: «Потребности», «Взаимодействие», «Время» и др. Анализировалось содержание исключительно не-приватных сообщений, передававшихся по открытому, каналу связи с ЦУ (дежурными бригадами, экспериментаторами).

Данные, полученные при изучении коммуникации, сопоставлялись с информацией о значимых событиях, происходивших в ходе эксперимента, а также с данными регулярного мониторинга психологического и психофизиологического состояния членов экипажа, включая объективные показатели биохимических методик (оценка экскреции кортизола). Для оценки психологического состояния членов экипажа использовалась стандартная батарея психологических тестов ЕКА, включающая в себя ряд опросников для оценки психологического состояния, самочувствия, качества сна (POMS, STAI, PSQI, GHQ).

Статистическая обработка результатов проводилась с применением непараметрических критериев: U-критерия Манна – Уитни, H-критерия Краскелла – Уоллиса, L-критерия тенденций Пейджа.

Результаты и обсуждение

Рабочая и личная коммуникация

В рамках рабочей коммуникации экипажу было отправлено 1737 сообщений за 520 сут эксперимента (по 27 сообщений в неделю или в среднем 4 сообщения в день), и 1250 сообщений было получено от экипажа (по 19 сообщений в неделю или в среднем 3 сообщения в день).

Объем личного общения значительно (в разы) превышал объем рабочей коммуникации. Так, общий объем личной почты, посылаемой европейским членам экипажа составил 5,4 ГБ (5690 файлов) для обследуемого А (в среднем 73 МБ / 76 файлов в неделю или 10 МБ / 11 файлов в день) и 5,9 ГБ (4944 файлов) для обследуемого В (в среднем 79 МБ / 66 файлов в неделю или 11 МБ / 9 файлов в день). При этом объем личной почты, полученной от европейских членов экипажа, составил 1,6 ГБ (1967 файлов) для обследуемого А (в среднем 21 МБ / 26 файлов в неделю или 3 МБ / 4 файлов в день) и 1,3 ГБ (3057 файлов) для обследуемого В (в среднем 17 МБ / 41 файлов в неделю или 2,5 МБ / 6 файлов в день). Таким образом, общее количество входящей информации для европейских участников эксперимента вдвое превышало объем информации, передаваемый ими вовне.

Влияние культурологических особенностей

В исследовании было подтверждено, что национальное происхождение членов экипажа во многом определяло их потребности в личной коммуникации. Различия в особенностях адаптации российских и европейских участников эксперимента к автономным условиям приводили к количественным различиям в коммуникации с внешним миром. Следует отметить, что в составе экипажа численно преобладали россияне, а персонал ЦУ практически полностью был российским. Кроме того, большинство ответственных исполнителей экспериментов научной программы проекта «Марс-500» также были гражданами России, включая сотрудников ИМБП. Ввиду этого, российские члены экипажа испытывали существенно меньше затруднений в общении с ЦУ и экспериментаторами, в то время как зарубежные участники не только находились в непривычной языковой и культурологической среде в роли «гостей», но и имели меньше возможностей по выходу на связь как с ответственными исполнителями европейских и китайских экспериментов, так и со своими близкими. Находящиеся в более привычных условиях российские члены экипажа имели склонность к большей «автономизации», поддерживая относительно небольшие объемы личной коммуникации с внешними абонентами (включая родственников и пр.). Для европейских членов экипажа, которые были вынуждены адаптироваться не только к условиям гермокамерного эксперимента, но и к непривычной культурологической среде, интенсивная приватная коммуникация оказалась одним из основных средств психологической поддержки. В среднем, объем личной коммуникации европейских членов экипажа был в 6–8 раз больше, чем у российских. Следует также отметить, что европейские и российские участники эксперимента в приватной коммуникации использовали преимущественно текстовые сообщения (письма), в то время как китайский член экипажа чаще пересылал аудио- и видеосообщения (возможно, в связи с большей простотой записи устной речи в сравнении с набором текста иероглифами без специальных средств ввода), что увеличивало объем его сообщений. Однако полноценный анализ коммуникации китайского участника не представляется возможным ввиду отсутствия доступа к исходным материалам и данным.

Потребность в информации из «внешнего мира»

Объем новостных материалов, которые были переданы европейским членам экипажа, был примерно в 1,5 раза больше, чем для российских членов экипажа и примерно в 600 раз больше, чем для китайского члена экипажа (последнему новости предоставлялись в основном в текстовом виде). 74,4 ГБ (5187 файлов) новостей были отправлены

европейским участникам (в среднем, 992 МБ (69 файлов) в неделю или 142 МБ (10 файлов) в день), около 50 ГБ для российских и лишь около 150 МБ для китайского члена экипажа. Однако следует отметить, что все новости, независимо от того, кому они были адресованы, были доступны для всех членов экипажа. Можно предположить, что для некоторых участников было достаточно совместного просмотра новостей, и они не запрашивали дополнительных материалов у своего психолога. Вместе с тем, отмечалось недовольство отдельных российских членов экипажа тем, что им поступает меньше новостных и медиаматериалов, чем европейским участникам, а также тем, что новости о событиях в их собственной стране иногда поступают им позже, чем членам другой национальной части экипажа.

Влияние значимых событий

Было показано, что изменения объемов личной коммуникации и информационных потребностей зависят от «ключевых» событий эксперимента, а также других значимых для членов экипажа событий (дней рождения, праздников и т.д.), изменений психологического состояния и рабочей нагрузки экипажа. Наблюдалось резкое увеличение объема личной коммуникации после 3–4 мес моделируемого полета (начало высокой автономности), после чего объем личной почты оставался преимущественно стабильным до конца 15-го месяца (конец периода высокой автономности). Кроме того, наблюдались значимые изменения объемов личной коммуникации в период моделирования высадки на Марс.

Влияние значимых событий на коммуникацию подтверждается и результатами анализа рабочей коммуникации экипажа с ЦУ. «Ключевые» события эксперимента (моделирование высадки на поверхность Марса, ситуация с полной потерей связи, восстановление прямой аудиосвязи и др.) вызывали значительные изменения в содержании адресованных ЦУ сообщений экипажа, отражающие изменения в потребности в общении с ЦУ и дренировании отрицательных эмоций вовне, эмоциональном состоянии, восприятии времени.

Выводы

1. Динамика рабочей и приватной коммуникации экипажа эксперимента «Марс-500» имела зависимость от наличия значимых событий, психологического состояния обследуемых и рабочей нагрузки в различные периоды эксперимента. Объем личной коммуникации членов экипажа в среднем существенно превышал объем рабочей коммуникации, причем это было более характерно для европейских участников.

2. Индивидуальные потребности в личной коммуникации, а также в обеспечении

конфиденциальности данного типа коммуникации, существенно зависели от культурного происхождения. Следует учесть, что члены экипажа от ЕКА и Китая участвовали в эксперименте, проводившемся на российской территории, и управление осуществлялось преимущественно российскими операторами ЦУ. Можно предположить, что их более интенсивное приватное общение с родственниками и друзьями в определенной степени компенсировало пребывание в непривычной культурологической среде («вдали от родного дома»).

3. Для членов экипажа из Западной Европы была характерна потребность в существенно большем объеме личной коммуникации и в получении информации из «внешнего мира», чем для российских участников, а также для члена экипажа от Китая. Для европейских участников также представлялось более значимым освещение событий эксперимента в СМИ и современных средствах массовой коммуникации (Интернет, социальные сети).

4. Средства психологической поддержки экипажа адаптировались к потребностям представителей различных национальностей. Вместе с тем, нарушения паритета в предоставлении новостных и медиаматериалов в отдельных случаях болезненно воспринимались некоторыми членами экипажа. Можно заключить, что принцип «паритета» в психологической поддержке для членов международного экипажа, часть из которых находится в непривычной культурологической среде в роли «гостей», должен выполняться с условием учета их культурологических различий и культурно-обусловленных информационных потребностей.

Список литературы

1. Мясников В.И., Степанова С.И., Сальницкий В.П. и др. Проблема психической астенизации в длительном космическом полете. М., 2000.
2. Мясников В.И., Степанова С.И., Сальницкий В.П. et al. Problems of psychological asthenia in prolonged space flight. Moscow, 2000.
3. Хананашвили М.М. Информационные неврозы. М., 1978.
4. Хананашвили М.М. Биологически положительный и отрицательный психогенный (информационный) стресс // Дизрегуляторная патология / Г.Н. Крыжановский, ред. М., 2002. С. 295–306.
5. Хананашвили М.М. Biologically positive and negative psychogenic (informational) stress // Dysregulatory pathology / G.N. Kryzhanovsky, ed. Moscow, 2002. P. 295–306.
6. Козеренко О.П., Следь А.Д., Мирзаджанов Ю.А. Психологическая поддержка экипажей // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. М., 2001. Т. 1. С. 365–377.
7. Козеренко О.П., Следь А.Д., Мирзаджанов Ю.А. Psychological support of the crews // Orbital station «Mir». Space biology and medicine. Moscow, 2001. V. 1. P. 365–377.
8. Дистанционное наблюдение и экспертная оценка: общение и коммуникация в задачах медицинского контроля / П.В. Симонов, В.И. Мясников, ред. М., Наука. 1982.
9. Remote monitoring and expert assessment: communications in medical control / P.V. Simonov, V.I. Myasnikov, eds. Moscow, 1982.
10. Triandis H. Culture and Social Behavior. N.Y., 2005.
11. Kanas N., Salnitskiy V., Grund E.M. et al. Social and cultural issues during Shuttle/Mir space missions // Acta Astronaut. 2000. V. 47 (2). P. 647–655.
12. Kanas N., Sandal G., Boyd J.E. et al. Psychology and culture during long-duration space missions // Ibid. 2009. V. 64 (7). P. 659–677.
13. Гушин В.И., Заприса Н.С., Пустынникова Ю.М. Особенности коммуникации национального и международного экипажей в условиях длительной изоляции // Модельный эксперимент с изоляцией в гермообъекте: проблемы и достижения. М., 2001. С. 100–114.
14. Гушин В.И., Заприса Н.С., Пустынникова Ю.М. Features of communication of national and international crews in conditions of long-term isolation // Model experiment with the hermetic chamber isolation: problems and achievements. Moscow, 2001. P. 100–114.
15. Виноходова А.Г., Гушин В.И., Еськов К.Н., Хананашвили М.М. Групповой психологический отбор и оптимизация межличностного взаимодействия в эксперименте с 105-суточной изоляцией // Авиакосм. и экол. мед. 2010. Т. 44. № 4. С. 5–10.
16. Виноходова А.Г., Гушин В.И., Еськов К.Н., Хананашвили М.М. Group psychological selection and optimization of interpersonal interaction in the experiment with 105-day isolation // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2010. V. 48. № 4. P. 5–10.
17. Швед Д.М., Гушин В.И., Виноходова А.Г. и др. Новый метод дистанционной оценки психофизиологического состояния спецконтингента // Технологии живых систем. 2010. № 2. С. 25–31.
18. Shved D.M., Gushchin V.I., Vinokhodova A.G. et al. A new method for remote assessment of the psycho-physiological state of the special contingent // Tekhnologii zhiyivikh sistem. 2010. № 2. P. 25–31.
19. Гушин В., Швед Д., Виноходова А. et al. Some psychophysiological and behavioral aspects of adaptation to simulated autonomous mission to Mars // Acta Astronaut. 2012. V. 70. P. 52.
20. Berelson B. Content analysis in communication research. N.Y., 1971.
21. Neuendorf K.A. The content analysis guidebook. Sage Publications, 2002.
22. Silberstein M. NOOJ manual. Paris, Universite de Franche Compte. 2003.

Поступила 06.06.2018

ORGANIZATION OF COMMUNICATIONS BETWEEN ISOLATED MULTINATIONAL CREW AND EXTERNAL CALLERS TOWARDS THE PSYCHOLOGICAL SUPPORT OPTIMIZATION

Feichtinger E.L.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 4. P. 28–33

Attributes of communication between the multinational crew and external callers were investigated in the chamber experiment simulating a 520-day space exploration mission. These included usage by the crew members of communications and transfer facilities, and information needs of the crew. Quantitative methods were applied to evaluate

work-related and private communications, as well as the content analysis to public communications. It was shown that on average the amount of crew private communications prevailed significantly over the work-related ones which was typical of the European participants particularly. Crew members from West Europe differed from their Russian and Chinese mates by a greater thirst for private communications and information from the «outside world». Besides, the Europeans were more concerned about the project footage in the media, the internet and social networks specifically. It can be concluded that the psychological support to members of a multinational crew some of whom feel like guests in a novel setting must be based on the principle of parity and with awareness as to their cultural differences and culture-dependent informational needs.

Key words: chamber experiment, autonomy, multinational crew, informational needs, communication, psychological support.

УДК 61:629.78

САНАТОРНО-КУРОРТНЫЙ ЭТАП РЕАБИЛИТАЦИИ КОСМОНАВТОВ ПОСЛЕ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ НА МКС – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Потапов М.Г.¹, Васин А.В.², Скедина М.А.¹, Ковалева А.А.¹

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

²Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, Звездный городок, Московская область

E-mail: skedina@imbp.ru

Медицинская реабилитация после космических полетов направлена на полное восстановление состояния здоровья и функциональных резервов организма космонавтов, изменившихся в результате физиологической адаптации к условиям космического полета. В период работы космонавтов на Международной космической станции (МКС) с 2001 по 2017 г. организован и проведен 51 этап послеполетной медицинской реабилитации с участием 69 космонавтов российского сегмента МКС. Было рассмотрено 25 мест проведения санаторно-курортного этапа после длительного космического полета на МКС с учетом сезона года. Определены важнейшие факторы санаторно-курортного лечения для восстановления здоровья космонавтов. Учитывая большую продолжительность пребывания космонавтов на МКС, отмечена важность социально-психологической реабилитации космонавтов для создания благоприятного психологического климата в процессе проведения всего этапа медицинской реабилитации.

Ключевые слова: космонавт, реабилитация, космический полет, санаторно-курортные базы.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 4. С. 34–38.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-34-38

Одна из основных задач космической медицины – сохранить здоровье и работоспособность космонавтов на всех этапах их профессиональной деятельности. В этом плане актуальны вопросы восстановления функционального состояния космонавтов в послеполетном периоде, сохранения их профессионального долголетия.

Профессиональная деятельность космонавтов сопряжена с комплексным воздействием на организм экстремальных факторов космического полета (КП) (невесомость, космическая радиация, герметизированный объем, нервно-эмоциональное напряжение и др.), обуславливающих возникновение различных функциональных расстройств, требующих проведения большого объема профилактических, реабилитационных, а в некоторых случаях и лечебных мероприятий.

Проблема восстановления состояния здоровья и работоспособности космонавтов после КП становится в настоящее время особенно актуальной в связи с увеличением длительности полетов, многократным участием космонавтов в полетах, а также в связи с участием в КП высококвалифицированных специалистов разного профиля, старшего возраста или имеющих парциальную недостаточность состояния здоровья.

Медицинская реабилитация после КП направлена на устранение изменений в организме, происшедших главным образом в результате физиологической адаптации к условиям КП и последующей реадaptации к земным условиям. Эти изменения в целом нельзя квалифицировать как патологические, их следует рассматривать как адаптационные, возникающие в ответ на действие факторов полета. Все это определяет важность создания условий, способствующих более быстрому и полноценному протеканию восстановительных процессов, повышению их эффективности после завершения КП.

Сложившаяся система медицинской реабилитации космонавтов после продолжительных полетов предусматривает поэтапное проведение восстановительных мероприятий [1]. Начальный этап осуществляется на реабилитационной базе Центра подготовки космонавтов (ЦПК) им. Ю.А. Гагарина в течение 2–3 нед после завершения длительного полета. В этот период усилия сосредоточиваются прежде всего на купировании неблагоприятных реадaptационных проявлений, повышении функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы и опорно-двигательного аппарата, восстановлении ортостатической устойчивости, статокINETических и координаторных функций, снятии послеполетного утомления.

Второй этап реабилитации (санаторно-курортный) продолжается в среднем 21 день, однако может быть продлен до 30–40 дней. До 2012 г. санаторно-курортный этап реабилитации проводился сотрудниками ГНЦ РФ – ИМБП РАН, с привлечением специалистов ЦПК им. Ю.А. Гагарина. С 2012 г.

Таблица

Проведение санаторно-курортного этапа реабилитации экипажей МКС (2001–2017 гг.)

Место проведения	Экспедиции МКС (российские члены экипажа)	Условия
Кисловодск санаторий им. Орджоникидзе санаторий им. Н.А. Семашко пансионат «Орлиное гнездо» санаторий «Заря» УДП РФ	МКС-1 (2001 г., весна), МКС-11 (2005 г., осень), МКС-17 (2008 г., осень), МКС-18 (2009 г., весна), МКС-19/20 (2009 г., осень), МКС-20/21 (2010 г., зима), МКС-23/24 (2010 г., осень), МКС-24/25 (2010 г., зима), МКС-43/44 (2016 г., весна), МКС-44/45 (2016 г., зима)	Среднегорье
Пятигорск санаторий им. С.М. Кирова ФМБА России	МКС-43/44 (2015 г., осень)	Среднегорье
Респ. Башкортостан санаторий «Красноусольск»	МКС-14 (2007 г., весна), МКС-21/22 (2010 г., весна)	Среднегорье, южный Урал
Ивановская область санаторий «Решма» ФМБА России	МКС-3 (2002 г., зима), МКС-5 (2003 г., зима), МКС-30/31 (2012 г., лето)	Равнинная местность
Курская область санаторий «Марьино»	МКС-4 (2002 г., лето)	Равнинная местность
Московская область санаторий «Союз»	МКС-26/27 (2011 г., лето)	Равнинная местность
Краснодарский край санаторий «Архипо–Осиповка», ФМБА России	МКС-25/26 (2011 г., весна), МКС-27/28 (2011 г., осень), МКС-41/42 (2015 г., весна)	Черноморское побережье
Республика Крым ФГБУ санаторий «Крым»	МКС-22/23 (2010 г., лето)	Черноморское побережье
Испания Канарские острова, отель «Анфи дель Мар»	МКС-1 (2001 г., весна)	Побережье Атлантического океана
Черногория Институт Игало, отель «Спленидид»	МКС-2 (2001 г., осень), МКС-6 (2003 г., весна-лето)	Средиземноморское побережье
Кипр отель «Медитерранеан»	МКС-7 (2003 г., осень), МКС-8 (2004 г., весна), МКС-9 (2004 г., осень)	Средиземноморское побережье
Италия Баньо ди Романья, отель «Терме-Розео»; о. Сардиния, отель «Форте Вилладж»; Адриатическое побережье в Червии: «Палас-отель», Гранд-отель «Порро», Гранд-отель «Терме», Гранд-отель «Галлия», Гранд-отель «Терме-Розео»	МКС-10 (2005 г., весна), МКС-12 (2006 г., весна), МКС-13 (2006 г., осень), МКС-15 (2007 г., зима), МКС-16 (2008 г., весна)	Побережье моря, среднегорье
Чехия Карловы Вары, санаторий «Schlosspark», г. Теплица, санаторий «Императорский»	МКС-28/29 (2011 г., зима), МКС-29/30 (2012 г., лето), МКС-32/33 (2012-2013 г., зима), МКС-33/34 (2013 год, весна), МКС-34/35 (2013 г., лето), МКС-35/36 (2013 г., осень), МКС-36/37 (2013-2014 г., зима), МКС-37/38 (2014 г., весна), МКС-38/39 (2014 г., лето), МКС-39/40 (2014 г., осень), МКС-40/41 (2014 г., зима), МКС-45/46 (2016 г., зима), МКС-48/49 (2016 г., осень), МКС-49/50 (2017 г., весна), МКС-51/52 (2017 г., осень)	Горная местность
Греция о. Эвбея, г. Эдипсос, «Терма Сулла СПА & Веллнесс отель», о. Крит, санаторий «Альдемар», о. Крит, санаторий «Анемос»	МКС-31/31 (2012 г., осень), МКС-42/43 (2015 г., лето), МКС-46/47 (2016 г., лето), МКС-47/48 (2016 г., осень), МКС-50/51 (2017 г., лето)	Морская береговая линия

ответственным за проведение данного этапа реабилитации является ЦПК им. Ю.А. Гагарина, а сотрудники ГНЦ РФ – ИМБП РАН участвуют в организации и проведении послеполетной реабилитации в качестве специалистов по восстановительной медицине.

На этом этапе медицинской реабилитации ставится цель полностью восстановить состояние здоровья, функциональные резервы организма космонавтов. Важно подчеркнуть, что в космической медицине задачи медицинской реабилитации сводятся не просто к восстановлению соматического здоровья, но и к установлению достаточно высоких функциональных резервов организма для последующей профессиональной деятельности.

Санаторно-курортное лечение космонавтов проводится согласно регламентирующим документам, утвержденным приказом министра обороны Российской Федерации и министра здравоохранения Российской Федерации от 9 января 2001 г. № 14/7 [2].

В период работы космонавтов на Международной космической станции (МКС) с 2001 по 2017 г. сотрудниками ГНЦ РФ – ИМБП РАН были организованы и проведены 28 этапов послеполетной медицинской реабилитации с участием 35 космонавтов российского сегмента МКС. Сотрудниками ЦПК им. Ю.А. Гагарина за этот период организовано и проведено 23 этапа послеполетной медицинской реабилитации с участием 34 космонавтов российского сегмента МКС, в 17 из которых специалисты института принимали участие в качестве врачей по восстановительной медицине.

Санаторный этап реабилитации членов экипажа МКС проводился на базе санаториев или пансионатов с бальнеологическими процедурами.

С целью исследования условий восстановления организма космонавта после длительного КП и выбора баз проведения 2-го этапа реабилитации были изучены климатогеографические факторы, влияющие на скорость восстановления и возможность их воздействия в разные сезоны года. В таблице приведены данные о санаторно-курортных базах реабилитации экипажей МКС.

Выбор баз для проведения санаторно-курортного этапа медицинской реабилитации определялся состоянием здоровья космонавтов, медицинскими показаниями, пожеланиями самих космонавтов, с учетом времени года и климатогеографических условий. Данные этапы реабилитации проводились как на российских, так и на зарубежных базах.

Особенность пребывания космонавтов в условиях санатория связана со временем года приземления космонавтов, так как 2-й этап реабилитации проводится примерно через 21–25 дней после приземления и может выпасть на любой сезон. За период наблюдения проведение 2-го этапа реабилитации приходилось: 31 раз на – весенне-осенний период времени года, 11 раз на летний период,

11 раз на зимний период. Члены экипажа МКС-1 и МКС-43/44 проходили реабилитацию на 2 разных санаторно-курортных базах. Отсюда следует предусмотреть проведение санаторно-курортного этапа восстановления в любой период года.

На основании проведенных исследований были определены общие наиболее необходимые лечебные и социальные мероприятия на втором этапе реабилитации.

Было рассмотрено 25 мест проведения санаторно-курортного периода восстановления после длительного КП на МКС. Семь мест реабилитации находились на морской береговой линии, 18 мест были связаны так или иначе с природными источниками минеральной воды.

Наиболее благоприятны санатории и пансионаты с медицинскими процедурами (SPA-пансионаты), расположенные (в летний период) на берегу моря, например, такие, как «Архипо-Осиповка», «Южное Взморье»; в зимний период восстановления космонавтов – в климатических зонах с умеренно континентальным климатом, например, санатории Кисловодска, Чехии, которые обладают всем необходимым для восстановления космонавтов: терренкуром в хвойных лесах протяженностью не менее 10–15 км с перепадом высот, местной питьевой минеральной водой, большим количеством солнечных дней.

Из российских баз чаще всего использовался район Кавказских Минеральных Вод (санатории г. Кисловодска) – среднегорье – 920 м над уровнем моря. Кроме того, реабилитация проводилась в Верхнем Поволжье, в центральной полосе России, в предгорьях Урала, Краснодарском крае. Из зарубежных баз использовались санатории и спа-отели, обладающие достаточно высоким уровнем реабилитационной инфраструктуры: Испании, Черногории, Италии, Чехии и островной Греции.

Была изучена санаторная база Федерального медико-биологического агентства России (ФМБА):

- ФГБУЗ МЦ «Решма» ФМБА России (Ивановская область);
- Филиал ФГБУН ТНИИКиФ ФМБА России «Центр спортивной медицины и реабилитации «Алтай» (Республика Алтай);
- ФГБУЗ «Санаторий «Архипо-Осиповка» ФМБА России (Краснодарский край);
- ФГБУЗ «Санаторий им. С.М. Кирова» ФМБА России (г. Пятигорск);
- ФГБУЗ МЦ «Юность» ФМБА России (г. Ессентуки);
- ФГБУЗ МРЦ «Сергиевские минеральные воды» ФМБА России (Самарская область).

Определено, что важнейшим фактором санаторно-курортного лечения является комплексность (сочетание всех необходимых для оздоровления факторов), географическое расположение (холмистая

местность, мягкий климат, лесопарковая зона, максимальное количество солнечных дней в году), лечебные процедуры (физиотерапевтические процедуры, такие, как методы электротерапии, ультразвук и др.), питье природной лечебно-столовой минеральной воды, предназначенной для лечения и профилактики заболеваний обмена веществ, и разнообразная культурная программа.

Выбранные реабилитационные базы пансионатов позволяли в полном объеме проводить лечебно-восстановительные мероприятия. Пансионаты имели сауну, комнату отдыха, бассейн не менее чем 7 x 3,5 x 1,5 м с противотоком и небольшой фитнес-центр.

Небольшая численность отдыхающих (пансионаты рассчитаны на пребывание не более 70 человек, их инфраструктура составляла около 40 номеров), а расположение комнат позволяло почувствовать уединенность и ограничить контакты с отдыхающими.

Семья космонавта располагалась в номере повышенной комфортности, категория «Апартаменты» (двухкомнатный номер с холлом) или «Люкс». Ежедневная влажная уборка в номере, наличие принудительной вентиляции в комнате, индивидуальное регулирование водяного отопления создавали комфортные условия для проживания.

Питание осуществлялось по щадящей диете № 3 (лечебное питание при хронических заболеваниях желудка, печени, желчевыводящих путей, кишечника в период ремиссии) с оптимальным соотношением основных пищевых и биологически активных веществ, энергетической ценностью 2500–2900 ккал, с определенной особенностью приготовления продуктов (запекание, приготовление на пару или варка, использование нежирных сортов мяса и рыбы), в ресторане отеля с полным пансионом (3-разовое питание) с широким выбором национальных блюд, соков и фруктов.

В ходе реабилитационных мероприятий проводились контрольный врачебный осмотр, курс лечебных процедур, включающий:

- гидромассажную ванну с маслами;
- частичный классический массаж тела;
- электротерапию на поясничный отдел позвоночника;
- торфяную ванну;
- ингаляции с минеральной водой;
- питье минеральной воды по схеме;
- тепловые процедуры (сауна по 1 ч, при температуре +90 °С);
- соблюдение санаторно-курортного режима;
- климатотерапию;
- дозированную физическую нагрузку (терренкур) по возрастающему графику с учетом общего состояния космонавта, динамики восстановления функций, физической подготовленности организма,

учета погодных условий и особенностей окружающей местности. В ходе проведения терренкура осуществлялся постоянный контроль частоты сердечных сокращений и наблюдение врача. Постоянная физическая нагрузка в ходе 2–3-часового перехода по пересеченной местности проходила по лиственному-хвойным лесам, насыщенным ионами кислорода и фитоионами.

Первые 2 дня пребывания на санаторной базе отводились на акклиматизацию. В дальнейшем основу восстановительных мероприятий составляли лечебная физкультура (ЛФК), терренкур, плавание, водные и тепловые процедуры, различные виды массажа, нарзанные ванны. Важное место в комплексе восстановительных мероприятий занимали мероприятия психологической реабилитации. Состояние космонавтов по прибытии на санаторную базу реабилитации обычно характеризовалось умеренно выраженной астенизацией, что проявлялось повышенной утомляемостью, ощущением дефицита сна, снижением переносимости физических нагрузок. Неврологическое обследование и исследование внутренних органов не выявляли, как правило, каких-либо отклонений. Лишь у отдельных космонавтов наблюдалась легкая дискоординация (неустойчивость в позе Ромберга).

К концу санаторного этапа восстановления функциональное состояние космонавтов приближалось к предполетному уровню или достигало его, о чем свидетельствовали результаты заключительного клинико-физиологического обследования, проводимого по окончании медицинской реабилитации. Происходило восстановление функционального состояния сердечно-сосудистой системы, физической работоспособности, статокINETических и координаторных функций, иммунологической реактивности.

Учитывая большую продолжительность пребывания космонавтов на МКС очень важна социально-психологическая реабилитация космонавтов.

В соответствии с регламентирующими документами необходимо в ходе санаторно-курортного этапа восстановления использовать средства и методы психологической поддержки [3]. Психологическая помощь – система профессиональных мер поддержки и содействия человеку, семье, социальной группе со стороны лиц, оказывающих психологическую помощь в предупреждении, разрешении, преодолении психологических проблем, которые нарушают нормальную жизнедеятельность, и способствующих поддержанию психического здоровья, оптимизации психического развития, социальной адаптации, саморазвитию, самореализации и повышению качества жизни. В целях повышения положительного эмоционально-психологического состояния космонавта на базе санаториев проводится социально-психологическая реабилитация.

С этой целью для создания благоприятных психологических условий восстановления здоровья космонавтов санаторный этап реабилитации проводился при совместном пребывании с космонавтами членов их семей. Кроме того, в процессе реабилитации использовался широкий спектр мероприятий культурной программы (экскурсии, осмотр местных достопримечательностей, посещение различных памятных мест, встречи с государственными и общественными деятелями, пресс-конференции и т.п.). Космонавты отмечают большое значение этих мероприятий для создания благоприятного психологического климата в процессе проведения всего этапа медицинской реабилитации.

Санаторный этап медицинской реабилитации весьма важен для восстановления функционального и психологического состояния космонавтов после длительных КП. Вместе с тем организация санаторно-курортного этапа реабилитации космонавтов на современном этапе осложняется введением Федерального закона «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 05.04.2013 г. № 44-ФЗ [4].

Несмотря на все трудности организации проведения санаторно-курортного этапа реабилитации в настоящее время, актуальность рассмотрения существующей практики реабилитации космонавтов вызвана необходимостью ее совершенствования в условиях увеличивающейся длительности КП, интенсивности полетных программ, обеспечения возможности неоднократных полетов космонавтов, с учетом увеличения их среднего возраста и, особенно с возможностью перспективных межпланетных полетов.

Работа выполнена в рамках темы 65.1 ФНИ РАН и по договору «Проведение работ по медико-биологическому обеспечению летных испытаний МКС» в 2016–2019 гг., № 16-03-930 с ПАО РКК «Энергия».

Список литературы

1. Почуев В.И., Богомолов В.В., Моргун В.В. и др. Состояние и развитие послеполетной реабилитации космонавтов (организационные и программно-методические аспекты) // Пилотируемые полеты в космос. 2013. № 4 (9). С. 73–81.

Pochuev V.I., Bogomolov V.V., Morgun V.V. et al. The state and progress of post-flight rehabilitation of cosmonauts (organizational and program-methodical aspects) // Pilotiruemye polety v kosmos. 2013. № 4 (9). P. 73–81.

2. Об утверждении Положения о медицинском освидетельствовании и контроле за состоянием здоровья кандидатов в космонавты, космонавтов и инструкторов-космонавтов: Приказ министра обороны Российской Федерации и министра здравоохранения Российской Федерации от 9 января 2001 г. № 14/7 (зарегистрирован

в Минюсте России 16 февраля 2001 г., регистрационный № 2580).

On approval of the regulations for the medical examination and monitoring of the health status of candidates for cosmonauts, cosmonauts and cosmonauts trainers: Order of the Minister of Defense of the Russian Federation and the Minister of Health of the Russian Federation № 14/7 of January 09, 2001.

3. Рюмин О.О. Вопросы психологического обеспечения пилотируемых межпланетных полетов // Авиакосм. и экол. мед. 2017. Т. 51. № 4. С. 15–20. DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-15-20.

Ryumin O.O. Some issues of the psychological support to piloted interplanetary // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2017. V. 51. № 4. P. 15–20. DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-15-20.

4. О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд [Текст]: Федеральный закон от 05.04.2013 г. № 44-ФЗ // Собрание законодательства. 2013. Вып. № 14. С. 3320–3464 (ст. 1652).

On the contract system in the area of procurement of goods, works and services for public and municipal needs [Text]: Federal law № 44-FZ of April 05, 2013 // Sbranie zakonodatelstva. 2013. № 14. P. 3320–3464 (art. 1652).

Поступила 17.11.2017

SPA- AND HEALTH-RESORT-BASED REHABILITATION OF COSMONAUTS AFTER SPACE MISSIONS TO THE ISS: CURRENT STATUS

Potapov M.G., Vasin A.V., Skedina M.A., Kovaleva A.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 4. P. 34–38

Medical rehabilitation after space missions serves to complete the recovery of cosmonaut's health and functionality undermined in consequence of physiological adaptation to the space environment. In the period from 2002 to 2017 the post-mission medical rehabilitation was provided to 69 ISS cosmonauts. Regions for rehabilitation were chosen meticulously depending on the scope of medical and seasonal benefits. In view of extended separation on the ISS, much importance is attached to facilitation of cosmonaut's socio-psychological resilience.

Despite difficulties in organizing the health-resort stage of rehabilitation at the present time, the relevance of considering the existing practice of rehabilitation of cosmonauts is caused by the need for its improvement in connection with the prospect of interplanetary flights.

Key words: cosmonaut, rehabilitation, space mission, spa-and health-resort centers.

УДК 611.018:612.313:57.045

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОКОЛОУШНОЙ СЛЮННОЙ ЖЕЛЕЗЫ МОНГОЛЬСКИХ ПЕСЧАНОК ПОСЛЕ ПОЛЕТА НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ФОТОН-М3»

Ерофеева Л.М.

Научно-исследовательский институт морфологии человека, Москва

E-mail: gystology@mail.ru

С использованием гистологических, гистохимических и морфометрических методов проведено сравнительное изучение морфофункциональных изменений околоушных слюнных желез у монгольских песчанок после 12-суточного полета на космическом аппарате (КА) «Фотон-М3» и наземного моделирования условий содержания животных на борту КА. Установлено, что сходные изменения в исследуемых группах, свидетельствующие о снижении секреторнообразования, предположительно связаны с употреблением корма с повышенной влажностью, а изменения, свидетельствующие о нарушении процесса выведения секрета, обусловлены воздействием перегрузок, которые испытывали животные полетной группы.

Ключевые слова: околоушная слюнная железа, космический полет, факторы космического полета.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 4. С. 39–43.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-39-43

Слюнные железы (мелкие и крупные) выполняют важную функцию в поддержании нормального химического состава эмали зубов, обеспечивают поддержание физиологического уровня регенерации эпителия ротовой полости и всего пищеварительного тракта, участвуют в регуляции водно-солевого гомеостаза организма и выполняют эндокринную функцию [1–6]. Главными функциями слюны, вырабатываемой слюнными железами, является смачивание слизистой оболочки ротовой полости и поглощенной пищи, начальное расщепление углеводов и липидов благодаря активности амилазы и липазы. Слюна содержит антимикробные защитные вещества, такие, как иммуноглобулины класса А, лизоцим, лактоферрин и β-лизины [1, 2]. Слюна имеет также очень важную буферную функцию и образует на зубах защитную пленку (пелликулу) с помощью кальцийсвязывающих белков [7]. Известно, что слюнные железы участвуют в адаптации организма к экстремальным условиям внешней среды [8–13]. Однако работ, посвященных изучению морфофункционального состояния слюнных желез при воздействии моделируемых и реальных факторов космического полета (КП), в научной литературе недостаточно.

В связи с этим цель данного исследования – изучение гистофизиологии околоушной слюнной железы у песчанок после длительного КП на космическом аппарате (КА) и наземного моделирования некоторых факторов КП.

Методика

Полетный эксперимент был выполнен в ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН в 2007 г. Материалом послужили околоушные слюнные железы, взятые у песчанок (n = 12), находившихся в течение 12 сут на КА «Фотон-М3». Животных контрольной группы (n = 11) содержали в течение полета в условиях вивария. Во время полета животные находились в блоках «БИОС-МЛЖ» по 3 особи, что считается оптимальным для содержания самцов-мышей. Параметры микроклимата на КА «Фотон-М3» (температура 20–27 °С, влажность 35–60 %) и в виварии при 12-часовом световом дне не различались и соответствовали требованиям, предъявляемым к условиям содержания мышей. Животных группы наземного эксперимента (n = 11) содержали в блоках «БИОС-МЛЖ», использованных в полетном эксперименте, после соответствующего технического обслуживания. Блоки с животными были установлены в климатической камере, в которой воспроизводили температуру, влажность и газовый состав атмосферы в полете КА. Животные полетной группы и наземного моделирования получали корм твердой консистенции с влажностью 17–28 %, оформленный в виде брикетов. Корм был разработан в ГНЦ РФ – ИМБП РАН, с учетом того, что для монгольских песчанок (*Meriones unguiculatus*), относящихся к хомякообразным грызунам, достаточно запасов воды в составе кормов [14]. Животные группы виварного контроля получали стандартный гранулированный комбикорм и воду. Кусочки околоушных слюнных желез фиксировали в 10%-ном нейтральном формалине с последующей стандартной спиртовой проводкой и заливкой в парафин. Из парафиновых блоков готовили срезы толщиной 4–6 мкм, которые окрашивали

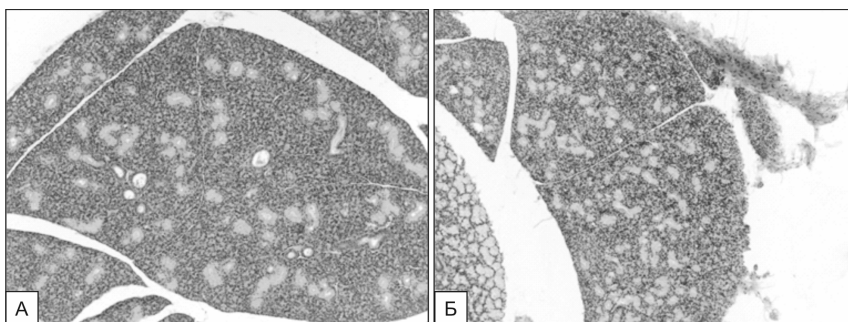


Рис. 1. Околоушная слюнная железа песчанок контрольной группы (А) и после 12-суточного космического полета на борту КА «Фотон-М3» (Б). Окр. гематоксилином и эозином. Ув. $\times 100$

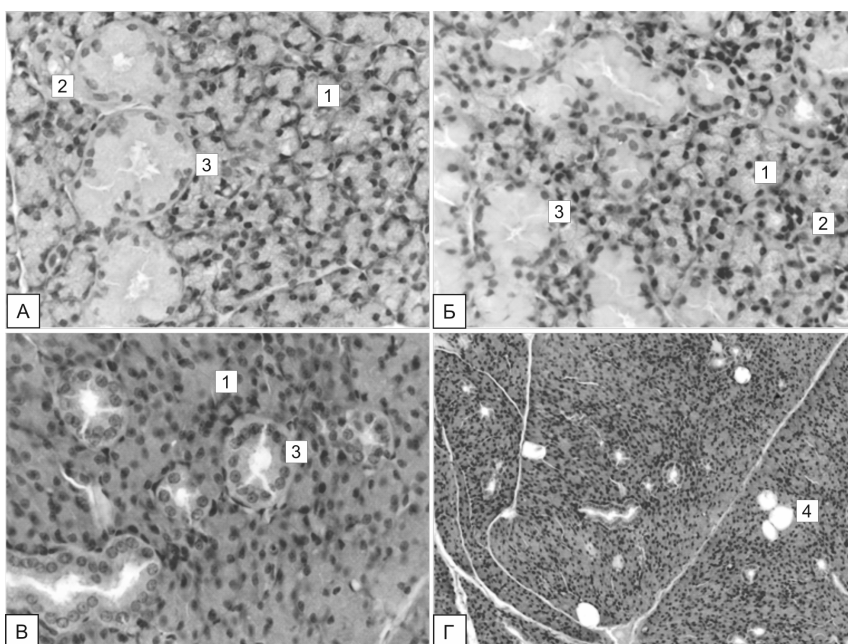


Рис. 2. Гистологическая структура дольки околоушной слюнной железы песчанок контрольной группы (А), после космического полета (Б) и наземного эксперимента (В, Г): 1 – ацинусы; 2 – вставочный выводной проток; 3 – исчерченный выводной проток; 4 – кистоподобные структуры. Окр. гематоксилином и эозином. Ув. А, Б, В – $\times 400$; Г – $\times 100$

гематоксилином и эозином, толуидиновым синим и реактивом Шиффа (ШИК-реакция). Измеряли площади сечения ацинусов, исчерченных протоков (слюнных трубок), площадь дольки слюнной железы. На площади сечения ацинусов подсчитывали количество ядер сероцитов. Определяли площадь сечения сероцита по формуле: S/N , где S – площадь ацинуса; N – количество ядер сероцитов на площади сечения ацинуса. Определяли долю (в %) общей площади сечений исчерченных протоков в общей площади среза дольки железы. Измерения площадей структурных компонентов железы проводили с помощью морфометрической программы

визуализируются. Вставочные протоки образованы однослойным кубическим эпителием, клетки которого имеют крупные светлые ядра и оксифильную цитоплазму. Клетки исчерченных протоков высокие, с оксифильной цитоплазмой, уплощенными и сдвинутыми к базальному полюсу ядрами. Просветы широкие, местами заполнены секретом. Доля площади, занимаемой на срезе исчерченными выводными протоками, составляет $9,04 \pm 0,87\%$ от площади паренхимы дольки. Показано, что выводные протоки принимают активное участие в секреторнообразовании и их функция заключается не только в фильтрации и выведении слюны, но и в синтезе

Image-ProPlus 6.0 на цифровом изображении, полученном на микроскопе Zeiss Axioplan 2 imaging (Германия) при увеличении $\times 400$.

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

Результаты и обсуждение

У песчанок виварного контроля дольки железы крупные. Одна долька занимает почти все поле зрения. Ацинусы хорошо контурируются и имеют крупные размеры (рис. 1, А). На поперечных срезах ацинусов насчитывается в среднем 4,0 ядра сероцитов. Цитоплазма сероцитов мелкозернистая, имеет базофильно-оксифильную окраску (рис. 2, А). В паренхиму дольки внедряются тонкие соединительно-тканые септы, по которым проходят междольковые выводные протоки и кровеносные сосуды. Внутривидольковые выводные протоки, вставочные и исчерченные (слюнные трубки), хорошо

Таблица

Морфометрические показатели околоушной слюнной железы песчанок после 12-суточного космического полета на КА «Фотон-М3» и наземного моделирования условий содержания животных в полете ($\bar{X} \pm Sx$)

Показатель	Группа животных		
	Контроль	Космический полет	Наземный эксперимент
Площадь ацинуса, мкм ²	323,5 ± 14,93	283,89 ± 33,19	397,29 ± 65,15
Площадь ациноцита, мкм ²	82,47 ± 14,18	68,47 ± 5,00	69,00 ± 2,83
Общая площадь исчерченных протоков, мкм ²	1696,58 ± 259,73	1062,25 ± 121,00	1381,36 ± 300,61

белкового и углеводного компонентов секрета [15]. При этом установлено, что секреторная активность клеток протоковой системы возрастает при снижении функции ацинарных клеток.

После орбитального полета отмечено достоверное ($p \leq 0,05$) уменьшение площади дольки железы в 1,5 раза (см. рис. 1, Б). Общая площадь, занятая исчерченными протоками достоверно уменьшилась в 1,6 раза, однако доля их площади к площади среза увеличилась в 3,2 раза ($p \leq 0,05$) и составила $29,29 \pm 1,48$ %. Сократилась средняя площадь ацинуса в 1,3 раза относительно контроля (таблица). Количество сероцитов на срезе ацинуса значительно не изменилось (в среднем 4,2 клетки), но уменьшилась средняя площадь сероцита (в 1,2 раза), что является показателем пониженной секреторной активности этих клеток. Просветы исчерченных протоков облитерированы (см. рис. 2, Б). Клетки переполнены секретом. Причем видны признаки оводнения секрета, однако выведение, по-видимому, блокируется вследствие воздействия стрессирующих факторов, таких, как перегрузки. Местами наблюдаются участки деструкции клеток исчерченных протоков с образованием кистоподобных структур. Вставочные протоки у полетных животных выявляются очень редко.

В околоушных слюнных железах песчанок группы наземного эксперимента, в котором моделировались условия содержания животных в КП, изменения имели сходную направленность с полетными животными. Дольки уменьшены в размерах, ацинусы крупнее, чем в контроле, в 1,2 раза. Размеры сероцитов, так же как и у полетных животных, в 1,2 раза уменьшены по сравнению с контролем (см. табл.), но на срезе ацинуса насчитывается больше клеток (в среднем 5,2 клетки). В отличие от полетного эксперимента, цитоплазма сероцитов плотная, окрашивается базофильно. Очертания секреторных отделов нечеткие. Секреторные отделы сливаются, трудно различить структуру (см. рис. 2, В). Общая площадь исчерченных протоков уменьшилась менее значительно, чем у полетных животных (в 1,2 раза). Доля площади исчерченных протоков в общей площади среза дольки составляет $13,9 \pm 0,76$ %, что достоверно больше в 1,5 раза ($p \leq 0,05$), чем у контрольных животных. Клетки исчерченных

выводных протоков низкие, с плотной цитоплазмой. Значительно чаще наблюдается разрушение клеток исчерченных выводных протоков с образованием кистоподобных структур (см. рис. 2, Г).

Учитывая, что у животных обеих опытных групп были выявлены сходные изменения, свидетельствующие о снижении секреторной активности сероцитов, характер этих изменений, на наш взгляд, объясняется тем, что животные и в полете, и в наземном эксперименте получали корм, влажность которого (17–28 %) значительно превышала влажность стандартного гранулированного комбикорма (не более 13,5 % по ГОСТу), поэтому не было необходимости в выработке большого количества слюны для смачивания пищи. Наше предположение о том, что изменение характера питания может оказать влияние на структурно-функциональное состояние слюнных желез, подтверждается данными авторов [13], которые получили аналогичные результаты в опытах на белых беспородных крысах, получавших в течение 100 сут только диспергированный корм с повышенной влажностью, без доступа к воде. Авторы также пришли к выводу, что длительное питание диспергированной пищей вызывает гипотрофию структурных компонентов околоушной слюнной железы: уменьшение площади сечения и периметра ацинусов, обусловленное гипотрофией сероцитов, а также уменьшение ширины просвета и толщины стенки исчерченных и вставочных выводных протоков. С другой стороны, нельзя исключить и тот факт, что употребление корма с повышенной влажностью могло вызвать повышение диуреза и как следствие адаптивно блокировалось выведение секрета слюнными железами с целью экономии воды. В отдельном эксперименте на мышах было показано, что при переводе животных с обычного рациона (стандартный комбикорм и вода) на пастообразный корм с повышенной влажностью потребление жидкости снизилось в 5 раз, а диурез возрос в 10 раз [16].

При постановке ШИК-реакции выявлено Шик-положительное окрашивание цитоплазмы и ациноцитов, и клеток слюнных трубок в околоушной железе у полетных животных и у животных группы наземного моделирования, что свидетельствует о накоплении гликогена. Известно, что интенсивно

секретирующая железа, потребляя большое количество энергии, помимо окислительного фосфорилирования использует и анаэробный гликолиз. В работе [17] показано, что гликоген накапливается в клетках слюнных желез (преимущественно в слюнных трубках) при функционировании и уменьшается в количестве во время голодания животного. В нашем эксперименте накопление гликогена, по-видимому, превышает его расходование из-за снижения функции железы. Наибольшая выраженность этого процесса у животных полетной группы объясняется воздействием мощного стрессирующего фактора – перегрузки, который испытывали животные полетной группы и который отсутствовал у животных группы наземного моделирования.

В сосудах микроциркуляторного русла у песчанок после орбитального полета и наземного моделирования отмечается застой крови. Соединительная ткань междольковых перегородок с признаками отека. Местами отмечается фиброз. Увеличено количество выявляемых тучных клеток, находящихся в стадии дегрануляции. При этом тучные клетки располагаются не только вблизи кровеносных сосудов, но и сопровождают междольковые выводные протоки и слюнные трубки.

Таким образом, при сравнительном изучении гистофизиологии околоушной слюнной железы песчанок после 12-суточного орбитального полета и наземного моделирования условий содержания животных на борту биоспутника установлены, с одной стороны, сходные изменения, свидетельствующие о гипотрофии и снижении функции, которые связаны, по-видимому, с употреблением корма с повышенной влажностью, и с другой – изменения, свидетельствующие о задержке выведения секрета, обусловленные стрессорным воздействием перегрузок, которые испытывают животные полетной группы. Показано, что песчанки чрезвычайно чувствительны к стрессу [18].

Выводы

1. В околоушной железе песчанок после 12-суточного орбитального полета и наземного моделирования условий содержания выявлены сходные изменения, такие, как уменьшение площади дольки железы, сокращение средней площади ацинуса и сероцита, свидетельствующие о снижении функции органа.

2. В околоушной железе у полетных песчанок, в отличие от животных наземного моделирования, отмечены изменения, свидетельствующие о нарушении процесса выведения секрета, такие, как облитерация просветов слюнных трубок, гипертрофия клеток исчерченных протоков, что обусловлено, по-видимому, действием перегрузок.

Список литературы

1. Бабаева А.Г., Шубникова Е.А. Структура, функция и адаптивный рост слюнных желез. М., 1979.
Babaeva A.G., Shubnikova E.A. The structure, function and adaptive growth of salivary glands. Moscow, 1979.
2. Денисов А.Б. Слюнные железы. Слюна. М., 2003.
Denisov A.B. The salivary glands. The saliva. M., 2003.
3. Пожарницкая М.М. Роль слюны в физиологии и развитии патологического процесса твердых и мягких тканей полости рта. Ксеростомия. Стимуляция слюноотделения // Клиническая стоматология. 2005. № 3. С. 42–45.
Pozharnitskaya M.M. The role of saliva in the physiology and the development of the pathologic process both hard and soft tissues of the oral cavity. Xerostomia. Stimulation of salivation // Klinicheskaya stomatologiya. 2005. № 3. P. 42–45.
4. Moreno E.C., Varughese K., Hay D.I. Effect of human salivary proteins on the precipitation kinetics of calcium phosphate // *Calcif. Tissue Int.* 1979. V. 28. № 1. P. 7–16.
5. Spielman A.I., Bernstein A., Hay D.I. et al. Purification and characterization of a rabbit salivary protein, a potent inhibitor of crystal growth of calcium phosphate salt // *Arch. Oral Biol.* 1991. V. 36. № 1. P. 55–63.
6. Lamkin M.S., Oppenheim F.G. Structural features of salivary function // *Crit. Rev. Oral Biol. Med.* 1993. V. 4. № 3–4. P. 251–259.
7. Леонтьев В.К., Галиулина М.В. О мицеллярном состоянии слюны // Стоматология. 1991. № 5. С. 17–20.
Leont'ev V.K., Galiulina M.V. On the micellar state of saliva // Stomatologiya. 1991. № 5. P. 17–20.
8. Боженкова М.В. Строение околоушных желез у белых крыс, погибших от теплового удара // Морфология. СПб., 2004. Т. 126. № 4. С. 22.
Bozhenkova M.V. Structure of parotid glands of albino rats killed by heat stroke // Morfologiya. St. Petersburg, 2004. V. 126. № 4. P. 22.
9. Денисов А.В. Воздействие ультразвука на большие слюнные железы. Морфология слюнных желез крыс в динамике // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2007. Т. 144. № 11. С. 586–589.
Denisov A.V. Effects of ultrasound on large salivary glands. The morphology of the salivary glands of rats in the dynamics // Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny. 2007. T. 144. № 11. P. 586–589.
10. Денисов А.В. Воздействие ультразвука на большие слюнные железы: функциональное состояние слюнных желез крыс в динамике // Там же. № 12. С. 621–623.
Denisov A.V. Effects of ultrasound on large salivary glands: the functional State of the salivary glands of rats in the dynamics // Ibid. № 12. P. 621–623.
11. Заливина С.В., Апраксина Е.Ю., Склянов Ю.И., Железный П.А. Влияние вибрации на минеральный обмен и состояние слюнных желез в системе мать – плод – потомство // Морфологические ведомости. 2007. № 3–4. С. 18–20.

- Zalivina S.V., Apraksina E.Yu., Sklyanov Yu.I., Gelezny P.A. Influence of vibration on mineral metabolism and status of parotid salivary glands in system mother – fetus – descendants // *Morfologicheskie vedomosti*. 2007. № 3–4. P. 18–20.
12. Садыкова В.С., Зеленская Я.А., Кирина Ж.А. и др. Ультраструктура сероцитов поднижнечелюстной слюнной железы в послеожоговом периоде // *Морфология*. СПб., 2008. Т. 133. № 3. С. 95.
- Sadykova V.S., Zelenskaya Ya.A., Kirina Zh.A. et al. Ultrastructure of the serocytes of submandibular salivary gland at the postburn period // *Morfologiya*. SPb., 2008. V. 133. № 3. P. 95.
13. Сыч В.Ф., Семенова М.А., Кузнецова Т.И. Морфометрические показатели околоушной слюнной железы белых крыс в условиях длительного потребления диспергированной пищи // *Морфологические ведомости*. 2008. № 1–2. С. 107–109.
- Sych V.F., Semenova M.A., Kuznetsova T.I. Morphometrical parameters of white rat's parotid salivary glands in condition of long-term consumption dispersant food // *Morfologicheskie vedomosti*. 2008. № 1–2. P. 107–109.
14. Солдатов П.Э., Медникова Е.М., Соловьева З.О. и др. Разработка корма для монгольских песчанок применительно к условиям космического полета // *Авиакосм. и экол. мед.* 2008. Т. 42. № 3. С. 64–68.
- Soldatov P.E., Mednikova E.M., Solovyeva Z.O. et al. Development of feed for Mongolian gerbils in relation to conditions of space flight // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2008. V. 42. № 3. P. 64–68.
15. Нечаева Н.В., Ярыгин В.Н. Об особенностях работы ацинусов и протоков околоушной слюнной железы при нарушении нормальных условий функционирования органа // *Труды Московского общества испытателей природы*. 1971. Т. 37. С. 98–106.
- Nechaeva N.V., Yarygin V.N. On the features of acini and duct Parotid gland in violation of the normal functioning of the organ // *Trudy Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody*. 1971. V. 37. P. 98–106.
16. Андреев-Андреевский А.А., Шенкман Б.С., Попова А.С. и др. Экспериментальные исследования на мышах по программе полета биоспутника «Биюн-М1» // *Авиакосм. и экол. мед.* 2014. Т. 48. № 1. С. 14–27.
- Andreyev-Andriyevskiy A.A., Shenkman B.S., Popova A.S. et al. The experimental studies on mice in the flight program biosatellite «Bion-M1» // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2014. V. 48. № 1. P. 14–27.
17. Чернова И.Д. Гистохимическое исследование гликогена в клетках подчелюстной слюнной железы // *Труды Московского общества испытателей природы*. 1971. Т. 37. С. 92–97.
- Chernova I.D. The histochemical study on glycogen in the cells of submandibular salivary gland // *Trudy Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody*. 1971. T. 37. P. 92–97.
18. Капланский А.С., Дурнова Г.Н., Орлов О.И., Ильин Е.И. Гистологическое исследование внутренних органов монгольских песчанок *Meriones unguiculatus* применительно к космическим экспериментам // *Авиакосм. и экол. мед.* 2008. Т. 42. № 1. С. 28–31.
- Kaplanskiy A.S., Durnova G.N., Orlov O.I., Ilyin E.I. Histological study of the internal organs of Mongolian gerbils *Meriones unguiculatus* in relation to space experiments // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2008. V. 42. № 1. P. 28–31.

Поступила 02.04.2018

MORPHOFUNCTIONAL PROPERTIES OF THE PAROTID GLAND OF MONGOLIAN GERBILS AFTER THE FLIGHT ABOARD SPACE APPARATUS «FOTON-M3»

Erofeeva L.M.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 4. P. 39–43

Histological, histochemical and morphometric techniques were used to compare morphofunctional changes in the parotid gland of Mongolian gerbils after a 12-d flight aboard space apparatus «Foton-M3» and ground simulation of the in-space maintenance conditions. Similar changes in the groups suggest a reduction of the secretion production presumably due to eating food with high water content on the one hand and descent g-loads experienced by the space flown animals on the other.

Key words: parotid gland, space flight, factors in space flight.

УДК 629.789+59.08:591.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА ОРГАНЫ РАВНОВЕСИЯ У РЫБ *Danio rerio*

Дадашева О.А., Гурьева Т.С., Грушина О.А., Медникова Е.И., Сычев В.Н.

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

E-mail: gurieva@imbp.ru

*В работе представлены результаты гистологического исследования органов равновесия у рыб *Danio rerio*, содержащихся в специально разработанном аквариуме в течение 36 сут в условиях космического полета на борту Международной космической станции. Получены сравнительные данные по гистологическому строению сенсорных органов рыб, находившихся в условиях космического полета и лабораторного контроля. К сенсорным органам рыб, отвечающим за восприятие колебаний воды, относятся несколько органов: вестибулярный аппарат, боковая линия и плавательный пузырь. На гистологических препаратах рыб полетной группы по сравнению с лабораторным контролем обнаружены изменения в строении внутреннего уха, уменьшении размера отолитовой мембраны, которые в основном находятся в саккулюсе и ампулах утрикулуса. На гистологических срезах отчетливо видно, что плавательный пузырь у подопытных рыб претерпел ряд структурных изменений, которые выражаются в сжатии и закручивании всех оболочек пузыря. Обнаруженные изменения в структуре изучаемых органов можно объяснить, приспособляемостью рыб к условиям невесомости при нахождении в условиях длительной измененной гравитации.*

Ключевые слова: невесомость, рыбы *Danio rerio*, гистологические исследования, вестибулярный аппарат, плавательный пузырь, боковая линия.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 4. С. 44–49.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-44-49

Биологические системы жизнеобеспечения (БСЖО) человека включают в свой состав различные автотрофные и гетеротрофные организмы, способные обеспечить относительно замкнутый кругооборот веществ в системе. Гетеротрофные организмы, за исключением микроорганизмов, входящие в состав БСЖО, являются, прежде всего, источником питания для человека. [1]. В качестве гетеротрофного звена БСЖО рассматриваются различные животные организмы, в том числе и рыбы. Включение рыб в качестве гетеротрофного звена в состав БСЖО длительных космических миссий невозможно без всестороннего исследования влияния факторов космического полета (КП) на

их морфофизиологическое состояние, без создания технологии содержания рыб на борту космических аппаратов и на ее основе разработку метода поддержания популяции гидробионтов на протяжении длительного времени в ряду космических поколений.

Известно, что эволюция живой материи на Земле проходила при постоянном воздействии гравитации, которая является формообразующим фактором. Способность ощущать гравитацию является необходимым условием для выживания в гравитационном поле, у животных организмов эту функцию выполняет вестибулярный аппарат. Изучению отдельных фаз эмбриогенеза в части развития вестибулярного аппарата у амфибий, рыб, птиц и млекопитающих в условиях микрогравитации, посвящено немало работ [2–4]. Первые космические эксперименты, в которых исследовалось формирование вестибулярного аппарата у рыб и амфибий в условиях невесомости, показали, что измененная гравитация оказывает воздействие на становление отолитового аппарата. Так у мальков рыбы данио (*Brachydanio rerio*), развитие которых проходило в условиях невесомости в течение 5 сут, было выявлено отставание в формировании отолитов, уменьшение размеров саккулюса и утрикулуса [5]. Результаты экспериментов с рыбами гуппи, экспонировавшихся в условиях КП на борту орбитальных станций, показали, что в условиях невесомости в отолитовой мембране вестибулярного аппарата происходят структурные сдвиги, которые приводят к изменению ее массы [6]. В работах Д.В. Лычакова было показано, что выраженность изменений в вестибулярной системе животных, находящихся в условиях измененной гравитации, существенно зависит от этапа онтогенеза, при котором проводилась их экспозиция в невесомости, и различна у разных видов животных [7]. Остается открытым вопрос: повлияют ли факторы КП, в том числе невесомость, на вестибулярный аппарат взрослых особей рыб?

Целью данной работы являлось изучение влияния факторов КП на состояние органов равновесия у рыб *Danio rerio*. Для достижения поставленной цели были проведены следующие исследования:

- сравнительное изучение гистологического строения вестибулярного аппарата рыб, находившихся в условиях КП и на Земле;
- сравнительное изучение гистологического строения плавательного пузыря рыб, находившихся в условиях КП и на Земле;
- сравнительное изучение гистологической картины боковой линии рыб *Danio rerio*, находившихся в условиях КП и на Земле.

Методика

Объектом исследований являлись взрослые особи рыб *Danio rerio* – популярные аквариумные рыбки, которые известны в англоязычной литературе как zebrafish. В настоящее время *Danio rerio*, которая относится к виду пресноводных лучеперых рыб семейства карповых (Cyprinidae), является наиболее изученным модельным объектом среди рыб. *Danio rerio* имеет небольшие размеры (до 4–5 см), обитает в пресных тропических водоемах (Индия и Южная Азия) [8].

Космический эксперимент «Исследование влияния условий КП на эмбриогенез, онтогенез, органогенез и поведение гетеротрофных организмов (рыб), обитающих в водной среде» (шифр «Аквариум-AQN») был проведен в соответствии с Соглашением между Японским аэрокосмическим исследовательским агентством (JAXA) и Федеральным космическим агентством (Роскосмос) от 5 июля 2012 г. На борт Международной космической станции (МКС) рыбы в количестве 18 штук были доставлены в специально разработанном контейнере и размещены в оборудовании AQN (рис. 1). Оборудование AQN предоставляет возможности для размещения маленьких пресноводных рыбок, а также других мелких гидробионтов.

Оборудование AQN состоит из одной закрытой системы водной циркуляции с 2 аквариумами. У аквариума есть автоматическая система подачи питания, светодиодное освещение для цикла день/ночь и камера CCD для наблюдения. Аквариумная среда поддерживается при помощи контроля расхода воды, контроля температуры воды, обмена растворимого газа с воздухом, и биологической/физической фильтрации. Также в оборудовании AQN имеются возможности, такие, как проверка качества воды, водообмен, замена фильтра отходов и т.д., чтобы можно было проводить эксперимент до 90 дней. Оборудование AQN размещено в рабочем объеме MSPR (многоцелевая стойка небольшой нагрузки) в модуле КИБО американского сегмента МКС.



Рис. 1. А – рыбы *Danio rerio* в аквариуме на борту МКС; Б – устройство для фиксации рыб на борту МКС

Продолжительность эксперимента составила 36 сут, по окончании которого рыбы были зафиксированы на борту в 4%-ном параформальдегиде на фосфатном буфере (pH 7,2), и доставлены на Землю. Контролем служили рыбы, находившиеся в оборудовании AQN на Земле. Зафиксированные рыбы из полетной и контрольной групп были залиты в парафин. С парафиновых блоков сделали тотальные поперечные срезы рыб толщиной в 5–7 мкм (μ). Готовые препараты для проведения гистологических исследований были переданы JAXA российским специалистам в ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Полученные препараты (каждый пятый) окрашивали гематоксилин-эозином по методу Караччи [9]. Изучение и фотографирование препаратов проводили на световом уровне с помощью микроскопа Unilus-12 (Япония) и камеры Levenhuk® C 800.

Результаты и обсуждение

Все живые организмы на Земле существуют в тесном взаимодействии с окружающей средой и способны реагировать на ее малейшие изменения. Рыбы, как и любой другой живой организм, способны воспринимать и реагировать на сигналы, поступающие из внешней среды. Изменение внешней среды, выражающееся в отсутствии гравитации, для многих животных является серьезной проблемой, так как вестибулярный аппарат перестает быть источником информации, однако животные, в том числе и рыбы, для ориентации в пространстве используют другие органы чувств, в первую очередь зрение [10].

Известно, что у костистых рыб сенсорные органы не так четко дифференцированы по функциям,

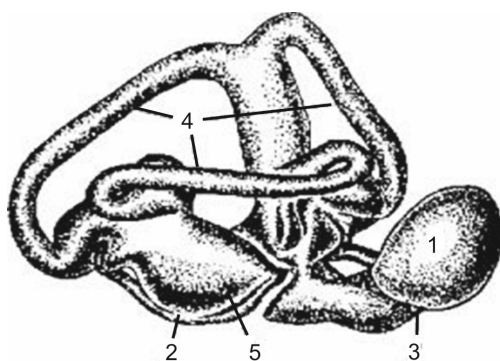


Рис. 2. Строение лабиринта у рыб (Иванов А.А., 2003).
1 – круглый мешочек (лагена); 2 – ампула (утрикулус);
3 – саккулюс; 4 – каналы лабиринта; 5 – расположение
отолитов

например, за восприятие колебаний воды у рыбы отвечают несколько органов: боковая линия, вестибулярный аппарат и плавательный пузырь. Сенсорные системы рыб обеспечивают надежную связь между водной средой и организмом. Сенсорная система включает в себя рецепторный аппарат (глаз, ухо, ампулы Лоренцини и др.) и анализирующий аппарат в составе центральной нервной системы [10].

Орган слуха и равновесия у рыб расположен в задней части черепной коробки и представлен внутренним ухом (рис. 2). Большой перепончатый лабиринт, который помещается в хрящевую капсулу, покрытую костной тканью, состоит из 3 полукружных каналов, каждый из которых на одном конце расширен в ампулу, и 3 камер с отолитами (*succulus*, *utricle*, *lagena*) [11]. Овальный мешочек (*utricle*) с полукружными каналами составляет орган равновесия – вестибулярный аппарат. Боковое расширение нижней части круглого мешочка (*lagena*), являющееся зачатком улитки, не получает у рыб дальнейшего развития. Полость лабиринта заполнена эндолимфой. От лабиринта отходит эндолимфатический проток, который у рыб слепо заканчивается у кожи головы. Внутреннее ухо имеет волосковые клетки, которые являются окончаниями слухового нерва и расположены участками в ампулах полукружных каналов, мешочках и лагене. Внутри мешочков и лагены лежат слуховые камешки, или отолиты, усиливающие восприятие информации о положении тела. Отолитовые органы отвечают за восприятие линейного ускорения и вектора гравитации, а система полукружных каналов – за ускорение и повороты в разных плоскостях [11].

На гистологических препаратах рыб из лабораторного контроля (рис. 3, А) видно, что нейроэпителий (макула) отолитовых камер представлен чувствительными волосковыми и опорными клетками. Чувствительные клетки имеют вытянутую форму

с чашевидным расширением в базальной части и темнотазофильные овальные ядра, которые образуют упорядоченный ряд. Опорные клетки имеют округлые ядра и лежат около базальной мембраны в нижних слоях макулы. Цитоплазмы этих клеток – мелкоглыбчатая, базофильноокрашенная. Отолитовые мембраны имеют неопределенную форму, лежат близко к сенсорному эпителию. Ампулы полукружных каналов выстланы однослойным плоским эпителием, переходящим в рецепторные структуры – ампулярные гребни утрикулюса. Гребни имеют вид складки с чувствительными цилиндрическими клетками. Опорные клетки располагаются преимущественно на периферии гребешков (см. рис. 3, А).

На гистологических препаратах рыб из полетной группы (см. рис. 3, Б) обнаружены изменения внутреннего уха: в сенсорных клетках макул, особенно в центральных отделах, наблюдается набухание и просветление цитоплазмы. Клетки не имеют четкой ориентации с разнонаправленностью относительно друг друга. Ядра клеток округлые, слабобазофильные. Цитоплазма отдельных опорных клеток светлая, с лизированными или пикнотичными ядрами. Отолитовая мембрана уменьшена в размере, тесно примыкает к нейроэпителию макулы (см. рис. 3, Б). Следует отметить, что подобные изменения наблюдаются в основном в саккуле и утрикуле. В ампулах гребня утрикулюса отмечено искривление складки в латеральном направлении, уплотнение нейроэпителия и сжатие структуры купулы.

Поддерживать равновесное положение тела рыбы в воде помогает плавательный пузырь, пустотельный орган, наполненный смесью газов и возникший в процессе развития из стенки кишечника. Эта связь у рыб семейства карповых сохраняется. Плавательный пузырь выполняет гидростатическую функцию, обеспечивая равновесное положение тела в воде, и рыба, регулируя количество газов в нем, может всплывать, погружаться или парить в воде. Он представляет собой удлинённый мешок, расположенный дорсально над пищеварительным трактом [12]. Основная функция плавательного пузыря у рыб – гидростатическая. Газ, которым наполнен пузырь, выделяется из состава крови через стенки мелких капиллярных сосудов, ветвящихся в стенках пузыря. Когда выделение газов из крови в пузырь увеличивается, пузырь расширяется, увеличивая и общий объем тела рыбы, объемный вес его уменьшается, и рыба всплывает вверх. Если же, наоборот, часть газов снова поглощается кровью, объем пузыря и всего тела становится меньше и объемный вес возрастает, рыба погружается в глубину.

Вторая, еще более важная функция плавательного пузыря связана с работой кровеносной системы. Плавательный пузырь является органом, регулирующим содержание газов в крови. На его внутренней

поверхности у многих рыб находится так называемое красное тело – сильно разветвленная сеть капилляров, через которые и происходит выделение из крови избытка газов или, наоборот, поглощение газов кровью, если их в ней недостаточно.

На гистологических препаратах рыб из контрольной группы газовый пузырь состоит из 2 оболочек (рис. 4, А). Тонкая внутренняя оболочка выстлана однослойным плоским эпителием. Под эпителием лежит слой коллагеновых волокон и рыхлой соединительной ткани с кровеносными сосудами. Наружная оболочка представлена волокнисто-мышечной тканью и состоит из 2 слоев коллагеновых волокон, разделенных прослойкой гладких мышечных волокон. Снаружи газовый пузырь покрыт тонкой серозной оболочкой. На препаратах у рыб контрольной группы видно, что внутренняя тонкая оболочка отделилась от наружной оболочки с образованием петель (см. рис. 4, А), что можно объяснить фактором воздействия фиксирующего раствора. У некоторых контрольных рыб наблюдается расщепление оболочек на слои.

На гистологических срезах рыб из полетной группы видно, что плавательный пузырь у подопытных рыб претерпел ряд структурных изменений, которые выражаются в сжатии и закручивании всех оболочек пузыря в краниокаудальном направлении брюшной полости, а также в пузыре обнаружена отечность (рис. 5, Б). Подобная гистологическая картина плавательного пузыря может свидетельствовать о нарушении поступления газов в этот орган, по-видимому, связанном с функциональной адаптацией рыб к условиям невесомости.

Характерный и очень важный для рыб орган чувств – боковая линия. Боковая линия – это своеобразный датчик движений и колебаний воды. Благодаря этому «датчику» рыбы ориентируются в подводном пространстве, обходят неподвижные препятствия, определяют местонахождение корма, направление течения.

Боковая линия представляет собой канал, проходящий через все туловище и сообщающийся с водой с помощью отверстий в чешуйках. Она содержит в себе очень чувствительные клетки – невромасты, реагирующие на давление и информирующие головной мозг о его изменениях. Этот чувствительный канал еще называют сейсмодатчиком. Чувствительные, реагирующие на колебания давления в воде, органы есть также на голове, на челюстях и на жаберных крышках рыбы. С центральной нервной системой боковая линия связана блуждающим нервом [12].

На гистологических препаратах рыб из полетной группы невромасты обычного вида, характерного для семейства карповых, без особенностей. Каких-либо различий в строении боковой линии у рыб контрольной и полетной групп не выявлено (см. рис. 5 А, Б).

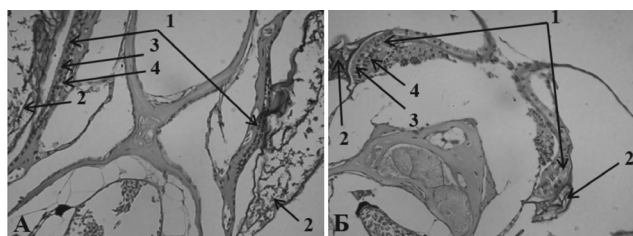


Рис. 3. Вестибулярный аппарат рыбы, ув. x40: А – контроль; Б – полетная группа.

1 – нейроэпителий макулы саккулуса; 2 – отолитовая мембрана; 3 – чувствительные (сенсорные) клетки; 4 – опорные клетки

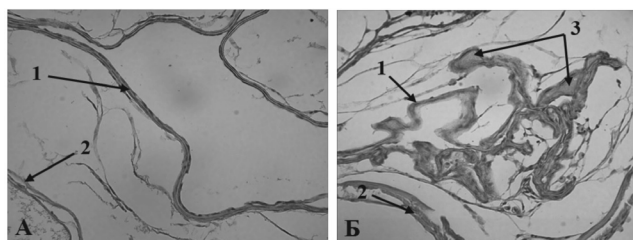


Рис. 4. Плавательный пузырь рыбы, ув. x40: А – контроль; Б – полет.

1 – тонкая внутренняя оболочка; 2 – наружная оболочка; 3 – отечность

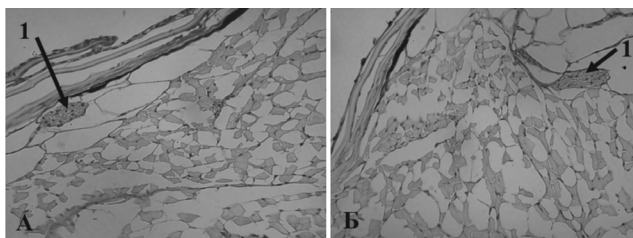


Рис. 5. Гистологическая картина боковой линии рыбы, ув. x40: А – контрольная группа; Б – полетная группа; 1 – невромаст

Выводы

1. Нахождение рыб *Danio rerio* в условиях КП в течение 36 сут, показало возможность сохранения ими жизнеспособности.

2. Гистологические исследования препаратов поперечных срезов рыб *Danio rerio* выявили различия в структуре вестибулярного аппарата и плавательного пузыря между рыбами полетной и контрольной групп, тогда как в строении боковой линии у рыб каких-либо различий выявлено не было. В вестибулярном аппарате у рыб полетной группы обнаружены:

– изменения сенсорного эпителия макул и ампулярных гребней внутреннего уха;

– отолитовая мембрана уменьшена в размере, которая в основном наблюдаются в саккулюсе и ампулах утрикулуса;

– в ампулах гребня утрикулуса отмечено искривление складки в латеральном направлении, уплощение нейроэпителлия и сжатие структуры купулы.

В плавательном пузыре у рыб полетной группы выявлено сжатие и закручивание всех оболочек пузыря в краниокаудальном направлении брюшной полости.

3. Изменения в структуре изучаемых органов можно объяснить тем, что рыбы пытались приспособиться к условиям невесомости. Известно, что у рыб отсутствует проприовосприятие тела (по сравнению с наземными животными) к измененной гравитации, а имеется относительно более высокая чувствительность к гравитации из-за больших отолитов, по-разному расположенных саккуло-отолитовых мембран. Поэтому при длительной измененной гравитации у рыб в условиях невесомости активизируется обратная связь между ЦНС и вестибулярными органами для адаптации к нормальному плаванию.

Работа выполнена в рамках СЧ ОКР «МКС (Наука)» ИМБП.

Список литературы

1. Шепелев Е.Я. Биологические системы жизнеобеспечения в условиях замкнутых систем круговорота веществ // Основы космической биологии и медицины. Совм. сов.-амер. изд. М., 1985. Т. 3. С. 277–307.
2. Шепелев Е.Я. Biological life support systems in conditions of closed matter circulation systems // Fundamentals of space biology and medicine. Coll. Sov.-Amer. ed. Moscow, 1985. V. 3. P. 277–307.
3. Парфенов Г.П. Невесомость и элементарные биологические процессы // Проблемы космической биологии. Л., 1988. Т. 57. С. 145–157.
4. Parfenov G.P. Weightlessness and elementary biological processes // Problems of space biology. Leningrad, 1988. V. 57. P. 145–157.
5. Газенко О.Г., Генин А.М., Ильин Е.А. и др. Адаптация к невесомости и ее физиологические механизмы // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1980. № 1. С. 5–18.
6. Gazenko O.G., Genin A.M., Ilyne E.A. Adaptation of the weightlessness and physiological mechanisms // Izvestiya AN SSSR. Ser. biol. 1980. № 1. P. 5–18.
7. Мелешко Г.И., Шепелев Е.Я., Гурьева Т.С. и др. Эмбриональное развитие птиц в условиях невесомости // Косм. биол. и авиакосм. мед. 1991. Т. 25. № 1. С. 37–39.
8. Meleshko G.I., Shepelev E.Ya., Guriyeva T.S. et al. The embryonic development of birds in weightlessness conditions // Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina. 1991. V. 25. № 1. P. 37–39.
9. Пальмбах Л.Р. Сила тяжести и развитие позвоночных организмов // Проблемы космической биологии. М., 1976. Т. 33. С. 74–92.
10. Palmbakh L.R. Gravity and development vertebrate organisms // Problems of space biology. Moscow, 1976. V. 33. P. 74–92.
11. Винников Я.А., Газенко О.Г., Титова Л.К. и др. Развитие вестибулярного аппарата в условиях невесомости: Доклад на XVIII сессии КОСПАР. Варна, Болгария, 1975.
12. Vinnikov Ya.A., Gazenko O.G., Titova L.K. et al. Development of vestibular apparatus in weightlessness: XVIII session of COSPAR. Varna, Bulgaria, 1975.
13. Лычаков Д.В. Поведенческие и функциональные вестибулярные сдвиги 1. Млекопитающие. 2. Рыбы, амфибии и птицы // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2016. Т. 52. № 1. С. 1–3.
14. Lychakov D.V. Behavioral and functional vestibular changes. 1. Mammals. 2. Fish, amphibians and birds // Zhurnal evolyutsionnoy biokhimii i fiziologii. 2016. V. 52. № 1. P. 1–3.
15. Cohen B., Yakushin S.B., Holstein G.R. et al. Vestibular experiments in space // Experimentation with animal models in space / G. Sonnenfeld, ed. 2005. P. 105–164.
16. Иванов Ю.В. Морфологические методы исследования в гигиене и токсикологии. М., 1983.
17. Ivanov Yu.V. Morphological methods of research in hygiene and toxicology. Moscow, 1983.
18. Rahmann H., Anken R.H. Gravity related research with fishes – perspectives in regard to the upcoming International space station, ISS // Adv. in Space Research. 2002. V. 30. № 4. P. 697–710.
19. Иванов А.А. Физиология рыб. М., 2003.
20. Ivanov A.A. The Physiology of fishes. Moscow, 2003.
21. Гентен Ф., Тервинге Э., Данги А. Атлас гистологии рыб: Учеб. пос. СПб., 2016.
22. Genten F., Terwinge E., Dangi A. Atlas of fish histology: Textbook. 2016.

Поступила 21.03.2018

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SPACEFLIGHT FACTORS ON EQUILIBRIUM ORGANS OF FISH DANIO RERIO

Dadasheva O.A., Guriyeva T.S., Grushina O.A., Mednikova E.I., Sychev V.N.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 4. P. 44–49

The paper presents the results of histological analysis of equilibrium organs in fish *Danio rerio* maintained in a bespoke aquarium over 36 days aboard the International

space station. Histological patterns of sensory organs of the space-flown fishes and laboratory controls were compared. Fish organs sensitive to water wavering are the vestibular apparatus, lateral line and swim bladder. Histological preparations of the flight fishes differed from the controls in the internal ear anatomy, diminution of the statoconic membrane that locates mostly in the saccules and utricle

ampullae. The histological sections show distinctly a number of structural changes in the swim bladder of the space fishes such as shrinkage and twisting of all bladder membranes. These structural developments can be attributed to fish adaptation to the extended exposure in a changed gravity.

Key words: microgravity, fish *Danio rerio*, histological investigation, vestibular apparatus, swim bladder, lateral line.

УДК 613.693:004.4+001.891

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Попова И.И.¹, Орлов О.И.¹, Ревякин Ю.Г.², Богославский В.Е.³

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

²Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва

³Компания «ДиЛоджик», г. Ростов-на-Дону

E-mail: redfox@imbp.ru

Описаны методы построения архитектуры специализированного программного обеспечения (ПО) сопровождения медицинского обследования и передачи по каналам связи медицинской видеоинформации в условиях модельных экспериментов. Приведены сценарий типовой процедуры и алгоритм выполнения сеанса обследования. Представлены результаты реализации методов построения программных модулей для автоматизации получения медицинских изображений на примере стоматологического обследования в условиях экспериментальной изоляции.

Ключевые слова: медицинские видеоизображения, архитектура программного обеспечения, программный модуль, единая программная среда.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 4. С. 50–54.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-50-54

Практика медицинского сопровождения экипажей, находящихся в космическом полете (КП), а также при моделировании полета в условиях длительной изоляции в научно-экспериментальном комплексе является одной из наиболее убедительных иллюстраций применения цифровых технологий обработки и передачи мультимедийной информации для удаленного мониторинга состояния здоровья людей [1].

Обследуемые, на долгое время изолированные от окружающего мира, лишены традиционных способов получения медицинской помощи. В составе таких экипажей часто отсутствуют специалисты с медицинским образованием, а условия жизнедеятельности и длительность изоляции повышают вероятность появления проблем, связанных с состоянием здоровья их членов. Как правило, условия изоляции как в КП, так и при его моделировании предполагают, что двусторонняя голосовая связь, передача видео- и цифровых данных осуществляется только несколько раз в сутки, во время непродолжительных сеансов связи. При этом информационный обмен может иметь значительные задержки, а используемый канал обладать ограниченной пропускной способностью при передаче данных [2], что особенно актуально для межпланетных КП. Это вносит ограничения к

применению стандартных методов и подходов для решения задачи телемедицинского сопровождения людей, живущих и работающих в условиях длительной изоляции [3]. Перечисленные факторы делают использование цифровых технологий для удаленного мониторинга состояния здоровья, с одной стороны, эффективным и оправданным, но, с другой стороны, предъявляют достаточно жесткие требования к способам и методам их реализации.

Практическая медицина традиционно использует внешний визуальный осмотр для оценки состояния здоровья человека и постановки диагноза в случае патологии. Для удаленного мониторинга необходимо не только решить задачу передачи изображения в цифровом виде, но и добиться того, чтобы передаваемая видеоинформация была полной и достоверной с медицинской точки зрения.

Стандартные технологии и средства передачи мультимедийной информации по цифровым каналам связи не могут быть напрямую использованы для этих целей: они не учитывают специфику предметной области, особенностей экстремальных условий использования и не всегда удовлетворяют повышенным требованиям к качеству получаемых видеоизображений.

Единственно возможным методом решения этой проблемы является разработка специализированных средств, которая включает 2 взаимосвязанные задачи:

- создание аппаратной составляющей, включающей профессиональное оптическое оборудование получения видеоизображений обследуемых органов и компьютерную платформу для обработки и передачи медицинской информации;
- разработку специализированного программного обеспечения (ПО) сопровождения обследования, обработки, сохранения и передачи по каналам связи медицинской информации.

При разработке специализированного ПО необходимо учитывать, что в условиях изоляции к методикам получения медицинских видеоизображений предъявляются повышенные требования. Эти

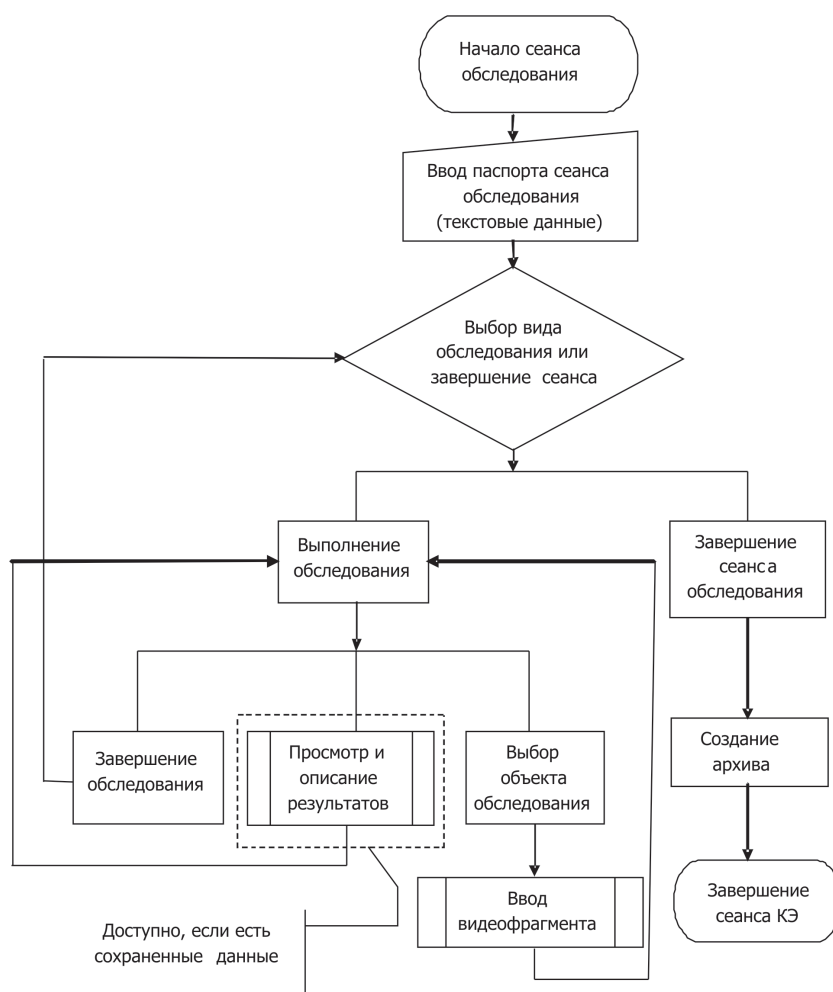


Рис. 1. Алгоритм выполнения сеанса обследования

требования касаются методов достижения качества и полноты получаемой медицинской информации, а также обеспечения надежности и простоты работы пользовательского интерфейса на всех этапах работы программного обеспечения.

Дополнительное ограничение вносит недостаточно высокая пропускная способность канала передачи данных, как правило, делающая невозможным передачу цифрового видеоизображения в реальном времени.

При наличии всех перечисленных ограничений, действующих в полете или модулирующей его экспериментальной изоляции, был выбран единственно возможный сценарий: обследования проводятся автономно самими членами экипажа без контакта со службами сопровождения; данные обследований накапливаются и затем, во время очередного сеанса связи, передаются для анализа медицинским специалистам.

Каждый сеанс обследования включает проведение одной или нескольких процедур определенного медицинского профиля.

Типовая процедура обследования состоит из следующих основных шагов:

- ввод данных обследуемого пациента;
- выбор вида обследования;
- ввод медицинского изображения обследуемого органа;
- описание изображения, ввод дополнительной информации;
- сохранение результатов обследования и их передача во время сеанса связи службам сопровождения экипажа.

Алгоритм выполнения операций при проведении сеанса обследования представлен на рис. 1.

Специализированное ПО предназначено для автоматизации и сопровождения действий пользователей на всех этапах выполнения обследования с учетом специфики медицинского профиля обследования. Программная реализация процедуры обследования учитывает специфику конкретной процедуры на всех этапах ее выполнения. Медицинский профиль обследования определяет методику ввода изображения и способ его описания. Описание изображений дает пользователю, не имеющему специального медицинского образования, средство однозначной идентификации изображений в терминах, общепринятых в медицинской практике.

Решаемые задачи и специфика среды использования (медицинское сопровождение команд исследователей, работающих в условиях длительной изоляции) определяют набор требований, которые учитывались при проектировании и разработке ПО:

- ПО предоставляет единую программную среду с общим интерфейсом для выполнения всех этапов обследований;
- действия пользователей по вводу информации на всех этапах выполнения программных процедур при всех обследованиях должны быть минимизированы, а выбор возможных альтернатив ограничен;
- программный интерфейс максимально полно учитывает специфику профиля и процедуры конкретного обследования;
- ПО должно быть рассчитано на пользователей, обладающих средним навыком в использовании персонального компьютера и не имеющих специального медицинского образования.

Программное обеспечение используется совместно с аппаратной частью комплекса. При этом предполагается, что программная реализация

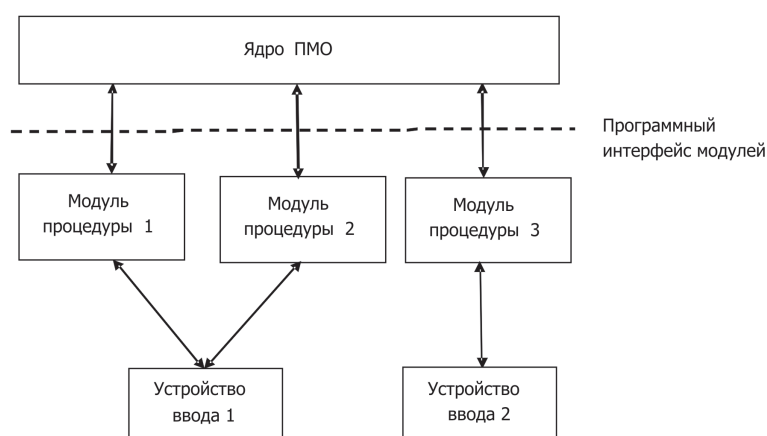


Рис. 2. Блок-схема архитектуры ПО

ввода и обработки видеоизображения соответствует модели обработки и интерфейсу программной платформы Direct Show, являющейся стандартом в ОС Windows для управления устройствами видеоввода и обработки потокового видео.

Как видно из приведенных выше требований, при проектировании ПО должны учитываться два противоречащих друг другу класса требований. С одной стороны, необходимо разработать единую программную среду для сопровождения действий исследователей на всех этапах выполнения сеанса медицинского обследования. С другой стороны, ПО должно максимально полно учитывать специфику медицинского профиля обследований и особенности используемой медицинской аппаратуры. То, что набор выполняемых процедур обследования и используемой видеоаппаратуры может меняться в зависимости от текущих задач медицинского сопровождения, дополнительно усложняет эту проблему. Решить ее можно, если изначально строить ПО исходя из принципов модульности и расширяемости. Поэтому при разработке ПО было решено реализовывать всю функциональность, связанную с выполнением конкретных процедур обследования, внутри отдельного класса программных компонент, называемых в дальнейшем программными модулями процедур обследования.

Каждый программный модуль связан с конкретной процедурой медицинского обследования и вызывается пользователем каждый раз при выполнении данного вида обследования. При этом при запуске модуля пользователю предоставляется графический интерфейс для выполнения следующих шагов процедуры обследования:

- захват видеоизображения обследуемого органа с использованием оптического видеоборудования, входящего в состав комплекта специализированной медицинской аппаратуры, и управление им;
- идентификация объекта обследования в соответствии с графическим интерфейсом;

- визуализация видеоинформации на мониторе компьютера для контроля качества изображений в режиме реального времени;
- описание объекта обследования в терминах медицинского профиля обследования;
- сохранение результатов обследования для передачи службам медицинского и научно-экспериментального сопровождения;
- просмотр результатов обследования на этапе анализа результатов медицинскими специалистами.

Таким образом, внутри модуля процедур обследования скрыты все особенности программной реализации, связанные со спецификой медицинского профиля

и применяемым в ходе обследования медицинским видеоборудованием.

Блок-схема архитектуры ПО приведена на рис. 2.

Модули процедур обследования взаимодействуют во время своего выполнения с центральным модулем (ядром) ПО, который предназначен для управления сценарием всего сеанса обследования в целом.

Во время одного сеанса возможно проведение нескольких различных процедур обследования. Это предполагает, что используемая версия ПО имеет в своем составе набор модулей, соответствующий плану проведения медицинских обследований. Набор применяемых модулей может расширяться и видоизменяться.

Чтобы гарантировать целостность ПО и его расширяемость, модули процедур обследований должны быть реализованы в соответствии с некоторым набором соглашений. Соглашения эти касаются в первую очередь программного интерфейса, который используют программные компоненты, входящие в ядро ПО, при обращении к модулям. Этот интерфейс является единым для всех модулей процедур обследования; в соответствии с его спецификацией разрабатываются модули для новых видов обследований.

Модули независимы в своей реализации – это предполагает, что изменения, внесенные в один из модулей, не затрагивают работоспособность остальных модулей и всего ПО в целом. Модули являются динамически загружаемыми компонентами ПО, т.е. подключение модулей происходит на этапе запуска программы для исполнения. Это облегчает расширяемость системы и не требует полной переустановки ПО при добавлении нового модуля.

Представленный подход к построению программной архитектуры был использован при разработке программного обеспечения для автоматизации получения медицинских изображений при проведении стоматологических обследований в условиях экспериментальной изоляции.

В соответствии с принятой методологией разработки модулей процедур обследования было создано специализированное ПО, включающее программный модуль, который предоставляет пользователю, выполняющему стоматологическое обследование, возможность выполнения следующих процедур:

- контроль поступающего от цифровой камеры видеопотока на экране компьютера;
- использование наглядного графического интерфейса для однозначного определения исследуемого объекта;
- идентификация объекта в терминах, общепринятых в стоматологии;
- фиксирование и сохранение для дальнейшей передачи отдельных статических или динамических видеофрагментов, отражающих состояние исследуемого объекта.

Для идентификации объекта, состояние которого отражает сохраненный видеофрагмент, был разработан графический пользовательский интерфейс. Графический интерфейс представляет собой схематическое изображение зубных рядов с общепринятой в стоматологии нумерацией каждого зуба и разбивкой по четвертям зубных рядов в соответствии с зубной картой. Используя такой интерфейс, пользователь точно выбирает изображение какого зуба или четверти зубного ряда будет зафиксировано далее при проведении обследования. Указанная пользователем идентификация сохраняется, архивируется вместе с записанным видеофрагментом и передается по каналу связи медицинским специалистам для последующего анализа.

Рассмотрим реализацию представленных методов автоматизации получения медицинских изображений на примере стоматологического обследования в условиях экспериментальной изоляции в эксперименте «Луна-2015».

Проводилось обследование 6 испытуемых женского пола в возрасте от 25 до 34 лет (5 испытуемых немедицинских специальностей и 1 врач общего профиля) в фоновом режиме и в условиях изоляции в гермообъекте (экспериментальных установках ЭУ-250 и ЭУ-150) наземного экспериментального комплекса ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

Целью стоматологических обследований, проведенных в рамках эксперимента, являлось получение и передача по каналам связи видеoinформации о состоянии пародонта и зубных рядов испытуемых.

Алгоритм и время проведения эксперимента задавались с учетом реально существующих ограничений при проведении бортовых экспериментов на российском сегменте Международной космической станции (МКС). Исследование включало в себя захват и обработку медицинских изображений с помощью Телемедицинского стоматологического комплекса ТБК-1С и разработанного для этих целей ПО



Рис. 3. Проведение стоматологического исследования с комплектом ТБК-1С

ТБК-1С V 3.3.0. Источником получения медицинского видеоизображения при проведении обследований являлась профессиональная цифровая стоматологическая видеокамера OwandyCam, входящая в комплект ТБК-1С. На рис. 3 показано использование испытуемым экипажа «Луна-2015» комплекта ТБК-1С при проведении стоматологического исследования.

В рамках эксперимента были проведены 2 серии обследований: фоновые обследования 8 испытуемых (сформировано 62 архивных файла); в условиях изоляции в научно-экспериментальном комплексе проведены обследования 6 испытуемых (сформировано и передано по каналам связи 50 архивных файлов). Архивные файлы содержали видеоданные и сопроводительную информацию.

Исходя из содержания полученных видеофайлов, данных анкеты, заполненной членами экипажа после эксперимента, а также видеомониторинга в реальном времени операций, выполняемых каждым испытуемым, была сделана оценка выполнения эксперимента по стоматологическим обследованиям по 3-бальной шкале. Так, 1 балл присваивался, если методика выполнялась неправильно, с нарушениями инструкции и при невозможности получения результатов без посторонней помощи, 3 балла – за четкое следование инструкции, быстрое и самостоятельное выполнение операций, получение высококачественных изображений с акцентом на участки, представляющие медицинский интерес.

Всем участникам эксперимента удалось получить видео всех элементов зубных рядов. Качество видео оценено у 3 испытуемых на 3 балла, у 3 – на 2 балла. В целом аппаратно-программное и методическое обеспечение стоматологических обследований испытуемыми оценено положительно. Качество

всех полученных видеоизображений позволило наглядно увидеть поверхности зубных рядов и отдельных зубов. На полученных видео было можно определить состояние последних зубов, наиболее труднодоступных для видеокамеры и требующих контроля стоматолога. На видео хорошо просматривались прилегающие слизистые оболочки ротовой полости и поверхность языка.

Отдельные проблемы, возникающие при работе с программным обеспечением (в основном во время выполнения процедуры захвата видеофрагментов изображений), были обусловлены несоблюдением испытателем пошаговой инструкции по работе с интерфейсом. Тем не менее, так как условия проведения эксперимента оказались приближенными к реальным условиям на борту МКС, особенно в части дефицита времени и ограничения контакта с постановщиком эксперимента, полученные результаты представили большую ценность для реализации стоматологического обследования в космическом эксперименте в условиях МКС.

Выводы

1. Представленные методы автоматизации получения медицинских изображений, апробированные в условиях длительной изоляции, позволяют создать единую программную среду для выполнения обследований различного медицинского профиля и передачи результатов для анализа группе медицинского и научно-экспериментального сопровождения.

2. Разработанное на основе данного методологического подхода специализированное ПО обладает свойствами открытости и расширяемости и, при необходимости, может быть дополнено новыми процедурами обследования или расширено поддержкой новых источников медицинской видеоинформации.

3. Реализация разработанного программного обеспечения в условиях КП позволит существенно расширить возможности мониторинга состояния здоровья членов экипажей, а также дополнить традиционные показатели биотелеметрии наглядной специализированной видеоинформацией о состоянии контролируемых органов человека.

Список литературы

1. Ревякин Ю.Г., Попова И.И., Орлов О.И., Богославский В.Е. Опыт автоматизации выполнения телемедицинских исследований в условиях длительной изоляции: Междунар. симпозиум по результатам экспериментов, моделирующих пилотируемый полет на Марс («Марс-500»). М., 2012.

Revyakin Yu.G., Popova I.I., Orlov O.I., Bogoslavskiy V.E. An experience of automation of telemedicine investigations

in conditions of long-term isolation: International symposium on the results of the experiments, simulating manned mission to Mars («Mars-500»). Moscow, 2012.

2. Попова И.И., Орлов О.И., Гончаров И.Б., Ревякин Ю.Г. и др. Отработка технологий телемедицинского обеспечения медицинского сопровождения пилотируемых полетов при реализации первого этапа эксперимента «БИМС» // Международная космическая станция. М., 2011. С. 219–228.

Popova I.I., Orlov O.I., Goncharov I.B., Revyakin Y.G. et al. Testing of telemedicine technologies providing medical support of manned flights at realization of the first phase of the experiment «BIMS» // International space station. Moscow, 2011. P. 219–228.

3. Grigoriev A.I., Orlov O.I. Commentary: Telemedicine and space flight // Aviat. Space Environ. Med. 2002. V. 73. P. 688–693.

4. Григорьев А.И., Орлов О.И., Баевский Р.М. Роль академика В.В. Парина в развитии космических телемедицинских технологий // Клиническая информатика и телемедицина. 2012. Т. 8. С. 80–88.

Grigoriev A.I., Orlov O.I., Baevsky R.M. The role of academician V.V. Parin in development of space telemedical technologies // Klinicheskaya informatika i telemeditsina. 2012. V. 8. P. 80–88.

5. Григорьев А.И., Орлов О.И., Логинов В.А. и др. Клиническая телемедицина. М., 2001. С. 3–4.

Grigoriev A.I., Orlov O.I., Loginov V.A. et al. Clinical telemedicine. Moscow, 2001. P. 3–4.

6. Леванов В.М., Переведенцев О.В., Орлов О.И. Основы аппаратно-программного обеспечения телемедицинских услуг. М., 2006. С. 208.

Levanov V.M., Perevedentsev O.V., Orlov O.I. A basics of hardware and software support of telemedicine services. Moscow, 2006. P. 208.

Поступила 26.03.2018

IN THE CONDITIONS OF EXTENDED ISOLATION

Popova I.I., Orlov O.I., Revyakin Yu.G., Bogoslavsky V.E.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 4. P. 50–54

Methods of designing architecture of medical data processing and image transmission in analog studies have been developed. The scenario of a type procedure and algorithm of an examination session are described. The results of methods implementation in modules during dental examination and imaging are reported.

Key words: medical imaging, software architecture, program module, united software environment.

УДК 612.886

АНАЛИЗ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ПО ПРИЧИНЕ НАРУШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТИРОВКИ И ИЛЛЮЗИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЗА ПЕРИОД 2009–2013 гг.

Жданыко И.М.¹, Благинин А.А.², Чистов С.Д.¹, Ляшедько С.П.²

¹Научно-исследовательский испытательный центр (авиационно-космической медицины и военной эргономики) ЦНИИ ВВС МО РФ, Москва

²Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

E-mail: sd.chistov@gmail.ru

По материалам анкетирования 440 пилотов определена частота появления иллюзий пространственного положения (ИПП) в полете, выявлены условия и факторы их возникновения, установлено влияние на качество пилотирования. Проведено исследование статистики авиационных происшествий (АП) по причине нарушения пространственной ориентировки (НПО) за период 2009–2013 гг. Установлено, что ИПП в полете испытывают 71 % пилотов. Количество АП за исследованный период сократилось в 2 раза – с 16 до 8 АП в год. Удельный вес НПО среди причин АП в государственной авиации РФ за указанный период увеличился с 13 % в 2009 г. до 38 % в 2013 г.; среди причин катастроф – с 22 % в 2009 г. до 60 % в 2013 г. Средние значения удельного веса НПО среди причин АП и катастроф составили 15 и 31 % соответственно. На основе полученных данных проведена систематизация причин и факторов НПО.

Ключевые слова: авиационный полет, авиационное происшествие, нарушение пространственной ориентировки, иллюзия пространственного положения, безопасность полетов, психофизиологическая подготовка.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 4. С. 55–60.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-55-60

Проблема снижения количества авиационных происшествий (АП) является актуальной для повышения безопасности полетов [1]. Наиболее сложным для контроля рисков и создания приемлемого уровня безопасности полетов является человеческий фактор – понятие, характеризующее людей во взаимодействии с машинами, процедурами и окружающей обстановкой, а также между собой [2].

Среди причин АП, связанных с человеческим фактором, одно из первых мест неизменно принадлежит нарушению и потере пространственной ориентировки пилотов [3].

Пространственная ориентировка пилота – это способность оценивать свое положение в пространстве, а также положение и перемещение основных осей самолета относительно гравитационной

вертикали, земной поверхности и внебортовых ориентиров. Иллюзии пространственного положения (ИПП), возникающие в авиационном полете, – это ложное восприятие положения и перемещения самолета относительно земной поверхности [4].

Возникающие в полете ИПП в ряде случаев затрудняют ориентацию летчика в пространстве, вызывая нарушение пространственной ориентировки (НПО), – состояние, характеризующееся ошибочным представлением об углах положения, скоростях и ускорениях движения самолета относительно системы отсчета поверхности земли. Это существенно усложняет профессиональную деятельность летчика и может служить предпосылкой к АП.

По мере развития авиации происходит увеличение числа АП, связанных с НПО. Удельный вес НПО как самостоятельной причины АП в предыдущее десятилетие составлял 5–14 % [5]. Целью данной работы является анализ аварийности по причине НПО в государственной авиации РФ за период 2009–2013 гг.

Методика

Для оценки распространенности явления НПО среди пилотов и ее влияния на безопасность полетов провели следующие исследования:

1. Анкетирование пилотов с помощью специальной анкеты «Иллюзии пространственного положения в полете», включающей разделы по условиям возникновения ИПП, их признакам, влиянию на качество пилотирования и способам преодоления в полете. Проведено анкетирование 440 пилотов государственной авиации РФ на основе анонимного опроса.

2. Ретроспективное исследование материалов по авиационной аварийности в государственной авиации Российской Федерации за период с 2009 по 2013 гг. и систематизация авиационных происшествий по причине НПО.

Результаты и обсуждение

В авиационной практике насчитывается несколько десятков разновидностей ИПП [6]. По данным проведенного нами анкетирования летного состава 71,1 % пилотов испытывали ИПП в полете. Из них преобладающее большинство опрошенных указывали на возникновение ощущений ложного положения самолета в пространстве: 76,2 % – иллюзия крена, 7,3 % – перевернутого полета, 2,6 % – горизонтального полета при наличии крена воздушного судна (ВС), 1,6 % – кабрирования или пикирования. Иллюзии движения в вертикальной плоскости (скольжения, вращения, перемещения) отметили лишь 5,6 % опрошенных лиц.

Иллюзорные ощущения при выполнении полетов на сложный пилотаж наиболее часто возникают при выполнении виража (50,6 %), петли (9,3 %), горки (9,3 %). При этом существенно чаще, чем вращательные, возникают гравитоинерционные ИПП. Редкая встречаемость вращательных ИПП обусловлена, по всей вероятности, тем, что во время выполнения пилотажных фигур угловая скорость самолета изменяется по закону, близкому к параболическому. При такой зависимости угловой скорости от времени поствращательные вестибулярные реакции не выражены, что подтверждается экспериментальными данными, полученными при синусоидальной вращательной стимуляции вестибулярного аппарата [7].

Результаты анализа материалов, отражающих характер и степень влияния ИПП на деятельность летчика, показали, что больше половины опрошенных лиц (54,3 %) отмечали отрицательное влияние иллюзорных ощущений на качество пилотирования. При группировании опрошенных по возрасту пилоты определяли это влияние в следующих соотношениях: моложе 25 лет – в 37,1 % случаев, 25–35 лет – 66,7 %, старше 35 лет – 78 %.

Полученные результаты обусловлены, по-видимому, тем, что с увеличением возраста (следовательно, и летного опыта) пилоты в большей мере используют собственные ощущения и неинструментальные сигналы о режиме полета для определения положения ВС в пространстве, а также осуществляют полеты в более сложных условиях.

Отрицательное влияние ИПП на качество пилотирования проявляется, прежде всего, в возникновении напряженности в период иллюзии (17,6 % ответов), затруднении оперирования с арматурой кабины (14,2 %), увеличении времени считывания приборной информации (8,8 %) и, наконец, в отвлечении внимания на собственные ощущения для определения пространственного положения ВС (2,7 %), причем в 3,6 % случаев пилоты отметили, что ИПП оказывают отрицательное влияние на выполнение полетного задания в целом.

Анализ анкет свидетельствует, что ИПП, возникающие при полетах на современной высокоманевренной военной авиационной технике, почти в половине случаев (49,2 %) являются результатом необычной зрительно-вестибулярной стимуляции, поскольку возникновение пространственных иллюзий происходит, как правило, при сочетанном воздействии ускорений и зрительных стимулов, не связанных с четкими наземными ориентирами. Так, ИПП возникают в условиях длительного отслеживания внекабинной обстановки при полете вне видимости естественного горизонта при входе в облака с креном или на вираже (20 %), а также при полете между или над облаками при их кривой кромке (13,4 %), при односторонней подсветке кабины солнцем или луной в облачности, резкой смене визуальных условий пилотирования (15,8 %), пилотировании под шторкой (15,8 %).

В ряде случаев (36,6 % случаев) ИПП возникают в результате действия в основном механических сил на организм летчика во время и после эволюций ВС или пилотирования вне видимости внекабинных ориентиров (под шторкой и т.п.). Поэтому ИПП в подобных условиях можно рассматривать как иллюзорные ощущения, порождаемые преимущественно избыточным (при резких маневрах) или недостаточным (при действии малых ускорений в диапазоне порога их восприятия) раздражением вестибулярного анализатора в условиях дефицита зрительных внекабинных ориентиров.

В 14,2 % к развитию ИПП приводили условия, которые связаны с длительным пребыванием в неизменной позе при продолжительных полетах, резких движениях тела, неровной укладке парашюта. В таких случаях пространственные иллюзии можно рассматривать как проявление модулирующего влияния двигательного анализатора на вестибулярные и зрительные реакции, имеющего тесные морфофункциональные взаимосвязи с данными сенсорными системами.

Обобщая рассмотренные выше группы условий, порождающих ИПП, следует отметить, что в каждой из них можно выделить наличие одновременной стимуляции нескольких анализаторных систем восприятия движения, а также появление противоречивой («конфликтной») афферентации сенсорных систем о характере перемещения в пространстве. Поэтому можно полагать, что с психофизиологической точки зрения ИПП являются адекватными полимодальными сенсорными реакциями на необычные (не встречающиеся в условиях повседневной жизни человека) сочетания раздражителей органов чувств в особых условиях полета, а не следствием нарушения взаимодействия анализаторных систем в таких ситуациях.

При невозможности преодоления пилотом ИПП может возникнуть пространственная дезориентация (ПД). Выделяют 3 типа ПД: I тип – нераспознанная, II тип – распознанная, III тип – выводная из строя или неконтролируемая (рис. 1) [4].

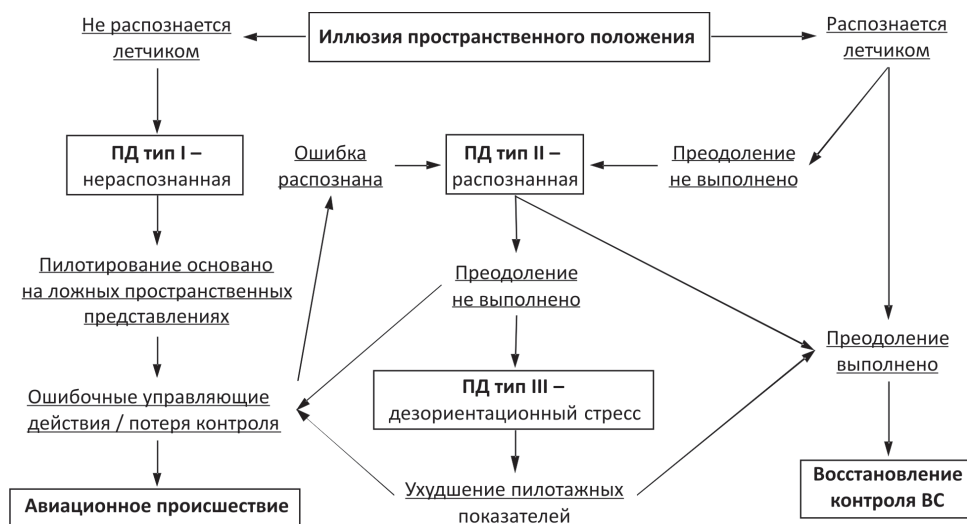


Рис. 1. Схема прогрессирующего ПД в авиационном полете (Previc F.H., 2004, с изменениями)

С 2009 по 2013 г. в государственной авиации РФ произошло 62 АП, из которых аварий было 33, катастроф – 29. Общее количество АП за исследованный период снизилось в 2 раза – с 16 до 8 АП в год (рис. 2). Общий налет при этом не снижался. Количество АП по причине НПО возросло с 13 % в 2009 г. до 38 % в 2013 г. Исключение составил 2010 г., когда АП по причине НПО зафиксировано не было. В среднем, за исследованный период удельный вес НПО среди причин АП составил 15 %.

Удельный вес НПО среди причин катастроф за период 2009–2013 гг. представлен на рис. 3. Полученные данные свидетельствуют о том, что он имеет явную тенденцию к росту. За исследованный период выявлен практически 3-кратный рост удельного веса НПО среди причин катастроф – с 22 % в 2009 г. до 60 % в 2013 г. В среднем за период 2009–2013 гг. доля НПО среди причин катастроф составила 31 %.

При рассмотрении ежегодной динамики удельного веса НПО среди причин АП в целом и в частности катастроф было выявлено, что удельный вес НПО как среди причин АП, так и среди причин катастроф возрос в 3 раза на фоне 2-кратного снижения количества АП за указанный период.

В предыдущее десятилетие удельный вес НПО как самостоятельной причины АП составлял 5–14 % [5]. За период 2009–2013 гг. произошло возрастание среднего значения удельного веса НПО до 15 %.

В качестве особенностей фактора НПО среди причин АП замечены следующие факты: во-первых, АП по причине НПО происходят регулярно; во-вторых, НПО не зафиксировано в качестве причины ни в одной из аварий за рассмотренный период. Это свидетельствует об актуальности данного фактора и высокой его опасности в авиационной аварийности.

Процентное отношение АП по причине НПО среди всех АП, полученное в данном исследовании,

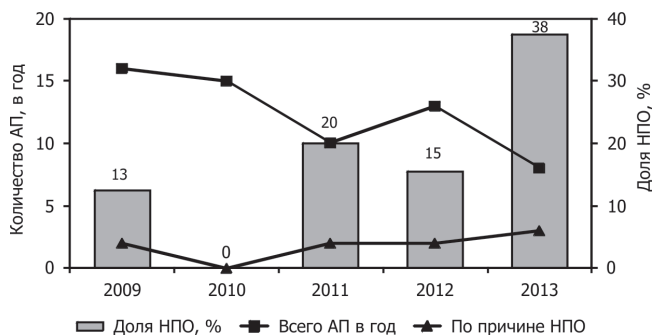


Рис. 2. Динамика количества АП (суммарно аварий и катастроф) в государственной авиации РФ за 2009–2013 гг. Графики общего числа АП (квадратные маркеры) и АП по причине НПО (треугольные маркеры) построены по левой вертикальной оси. Диаграмма, отображающая долю АП по причине НПО среди всех АП (%), построена по правой вертикальной оси

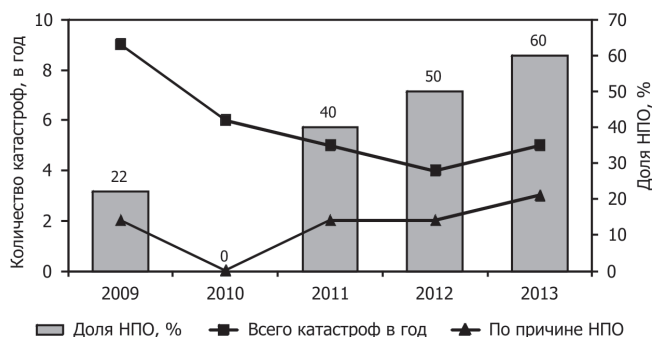


Рис. 3. Динамика количества катастроф в государственной авиации РФ за 2009–2013 гг.

Графики общего числа катастроф (квадратные маркеры) и катастроф по причине НПО (треугольные маркеры) построены по левой вертикальной оси. Диаграмма, отображающая удельный вес НПО среди причин катастроф (%), построена по правой вертикальной оси

соответствует результатам других исследований в мировой практике. Так, 20-летние исследования АП по причине НПО в военно-воздушных силах США показали, что удельный вес НПО среди всех АП составляет 12 %, среди катастроф – 34 % [8].

В США и других странах разработана и функционирует система специальной подготовки летного состава на динамических тренажерах, имитирующих НПО [9]. В России идет формирование такой системы и создание подобных тренажеров. Однако полученные данные свидетельствуют, что эффективность мероприятий по специальной подготовке на подобных стендах, по-видимому, недостаточна. В связи с этим, проблема разработки новых методов, создания новых стендов пространственной тренировки пилотов по-прежнему актуальна.

Обобщение результатов исследования, а также опыт расследования АП позволяет определить факторы возникновения ИПП и нарушения пространственной ориентировки с целью принятия мер по их профилактике.

Всю совокупность факторов НПО в практической работе по расследованию АП мы классифицировали на 5 групп по признаку субъекта эргатической системы «летчик – самолет – среда»: факторы пилота, ВС, среды, деятельности, взаимодействия.

К факторам пилота отнесли ухудшение или изменение функционального состояния летчика вследствие нарушения режима труда и отдыха, заболеваний, утомления, эмоционального стресса, после приема алкоголя и ряда лекарственных средств; незнание летным составом иллюзий пространственного положения; ошибки при считывании показаний пилотажно-навигационных приборов.

В перечень факторов ВС включили: эргономические недостатки индикации пространственного положения ВС; слабую наглядность лицевых частей приборов, их недостаточную освещенность, неудобное место на приборной доске, затрудненность в считывании и понимании показаний и другие; неудобное расположение, несовершенную конструкцию, нелогичное направление отклонений рычагов и органов управления (ОУ); неполное соответствие расположения рычагов и ОУ их использованию в полете в зависимости от их значимости и частоты применения; отказы пилотажно-навигационных приборов, отказы и засветки многофункциональных индикаторов.

Группу факторов внешней среды составили: сложные метеорологические условия; ночной полет; полет над водной, малоориентирной, заснеженной поверхностью; дождь, снегопад, туман; особые обстоятельства появления привычных ориентиров, например, изменение подстилающей поверхности; отсутствие видимости горизонта; временное ослепление ярким светом; угловые и кориолисовы ускорения; пилотажные перегрузки, особенно боковые и продольно-боковые.

К факторам деятельности отнесли: совмещение выполнения летчиком двух или более задач, в частности, пилотирования с ведением радиопереговоров, работой с арматурой кабины и т.п., поскольку при этом снижается надежность активного контроля положения ВС в пространстве; выполнение экипажем доминирующей задачи (доминантное состояние); дефицит времени на оценку пространственного положения по приборам и выработку решения на последовательность управляющих движений; переходы от визуального к приборному полету, при которых изменяются значимость источников информации, степень загруженности летчика их восприятием и переработкой, способы ориентировки; активное маневрирование.

Наконец, перечень факторов взаимодействия включил: отсутствие необходимых команд руководителя полетами (РП) или ведущего (ведомого); ошибочные команды РП или ведущего (ведомого); нарушение взаимодействия между членами экипажа.

Существенное значение имеет фактор индикации ВС по крену. Подавляющее большинство АП вследствие НПО произошло на воздушных судах, оснащенных «прямой» индикацией авиагоризонта по крену (вид «с самолета на землю»), которая, в отличие от «обратной» (вид «с земли на самолет»), способствует развитию иллюзии кажущегося движения окружающего пространства и требует больше времени и логических операций на поддержание ситуационной осведомленности летчика в сложных положениях [6]. При полетах над морем на летчика, наряду с вестибулярным дезориентирующим фактором, действует визуальный фактор, провоцирующий возникновение зрительных ИПП [5].

Анализ факторов НПО определяет направления профилактики этого состояния у пилотов. Для всестороннего учета человеческого фактора в безопасности полетов необходимо проводить мероприятия по профилактике пространственной дезориентации на всех этапах создания и эксплуатации ВС.

На этапе проектирования и модернизации ВС следует учитывать особенности психических процессов восприятия, переработки информации и управления ВС человеком при создании информационно-управляющих полей кабины, формировании состава и логики предъявляемой информации, особенно при использовании индикаторов на лобовом стекле и на шлемных системах индикации. Необходимым этапом создания новых технических решений, влияющих на безопасность полетов по человеческому фактору, является их экспериментальная оценка на полнатурных моделирующих комплексах. При изменениях и модернизации информационно-управляющего поля кабины экипажа ВС должна соблюдаться преемственность технических решений.

На этапе обучения и переучивания летного состава следует проводить регулярную, систематическую

и научно обоснованную психофизиологическую подготовку летного состава [10].

На этапе эксплуатации ВС для предотвращения НПО необходимо контролировать соответствие полетного задания уровню подготовки летчика, строго соблюдать требования Руководства по летной эксплуатации, безукоризненное выполнение всех предполетных процедур. Актуальной проблемой является также внедрение в практику медицинского обеспечения полетов современных средств объективной оценки функционального состояния пилота и диагностики утомления.

В полете вероятность НПО минимальна, когда проводится эффективное взаимодействие пилота с руководителем полетами путем информативного радиообмена, а также между пилотами при полете строем, дозаправке для поддержания высокого уровня ситуационной осведомленности.

Выводы

1. Возникновение ИПП не является следствием недостаточной квалификации, необученности пилота или проявлением заболевания. Оно обусловлено нормальными физиологическими реакциями органов чувств человека на динамические или зрительные стимулы, к восприятию которых они не приспособлены. В связи с этим нарушение пространственной ориентировки в полете является следствием несоответствия психофизиологических возможностей пилота условиям выполнения полета в данный момент (период) времени.

2. Иллюзии пространственного положения в полете испытывают 71 % пилотов. Больше половины опрошенных лиц отмечают их отрицательное влияние на качество пилотирования. Оно проявляется в возникновении напряженности, затруднении оперирования с арматурой кабины, увеличении времени считывания приборной информации и отвлечении внимания на собственные ощущения.

3. Удельный вес АП среди причин НПО в государственной авиации РФ за указанный период увеличился с 13 % в 2009 г. до 38 % в 2013 г.; среди причин катастроф – с 22 % в 2009 г. до 60 % в 2013 г. Средние значения удельного веса НПО среди причин АП и катастроф составили 15 и 31 % соответственно.

4. Для всестороннего учета человеческого фактора при расследовании АП следует систематизировать исследуемые обстоятельства на следующие группы факторов НПО: факторы пилота, ВС, деятельности, среды, взаимодействия. Анализ факторов НПО определяет направления профилактики этого состояния у пилотов. Мероприятия по профилактике НПО необходимо проводить на всех этапах создания и эксплуатации авиационной техники.

Список литературы

1. Николайкин Н.И., Цетлин В.В., Савчуков С.А. и др. О необходимости и возможности снижения воздействия человеческого фактора на безопасность полетов // *Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык*. 2017. № 2. С. 201–218.
2. Николайкин Н.И., Цетлин В.В., Савчуков С.А. et al. Concerning the need and possibility of decreasing the human factor influences on flight safety // *Crede experto: transport, obshchestvo, obrazovanie, jazyk*. 2017. № 2. Р. 201–218.
3. Руководство по обучению в области человеческого фактора. Doc 9683-AN/950. Изд. 1-е. 1998.
4. Human factors training manual. Doc 9683-AN/950. 1st ed. 1998.
5. Лапа В.В., Пономаренко В.А., Чунтул А.В. Психофизиология безопасности полетов. М., 2013.
6. Lapa V.V., Ponomarenko V.A., Chuntul A.V. Psychophysiology of flight safety. Moscow, 2013.
7. Previc F.H., Ercoline W.R. Spatial disorientation in aviation (Progress in astronautics and aeronautics. V. 203). Reston, VA. [USA]: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004.
8. Пономаренко В.А. Психология авиации. Т. 2 / А.Н. Разумов, ред. М., 2015.
9. Ponomarenko V.A. Psychology of aviation. V. 2 / A.N. Razumov, ed. Moscow, 2015.
10. Коваленко П.А., Пономаренко В.А., Чунтул А.В. Иллюзии полета (Авиационная делиология): Метод. рекомендации. М., 2006.
11. Kovalenko P.A., Ponomarenko V.A., Chuntul A.V. Flight illusions (Aviation delioliogy): Methodological recommendations. Moscow, 2006.
12. Kolev O.I. Thresholds for self-motion perception in roll without and with visual fixation target – the visualvestibular interaction effect // *Funct. Neurol*. 2015. V. 30. № 2. Р. 99–104.
13. Poisson R.J., Miller M.E. Spatial disorientation mishap trends in the U.S. Air Force 1993–2013 // *Aviat. Space Environ. Med*. 2014. V. 85. № 9. Р. 919–924. DOI: 10.3357/ASEM.3971.2014.
14. Благинин А.А., Синельников С.Н., Ляшедько С.П. Современное состояние и проблемы тренировки пространственной ориентировки летчиков // *Авиакосм. и экол. мед*. 2017. Т. 51. № 1. С. 65–69. DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-65-69.
15. Blaguinin A.A., Sinelnikov S.N., Liashedko S.P. State-of-the-art and problems of spatial orientation training of pilots // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2017. V. 51. № 1. Р. 65–69. DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-65-69.
16. Психофизиологическая подготовка летного состава: Метод. пос. / В.А. Бодров, В.А. Пономаренко, ред. М.; Л., 1989.
17. Psychophysiological training of flight crew: Methodical manual / V.A. Bodrov, V.A. Ponomarenko, eds. Moscow; Leningrad, 1989.

Поступила 16.01.2018

**ANALYSIS OF AVIATION ACCIDENTS
IN CONSEQUENCE OF SPATIAL
DISORIENTATION AND POSITIONAL
ILLUSIONS OVER THE PERIOD
OF 2009–2013**

**Zhdanko I.M., Blaguinin A.A., Chistov S.D.,
Lyashedko S.P.**

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).
2018. V. 52. № 4. P. 55–60

*Data of questioning 440 pilots was used to rate the
frequency of positional illusions (PIs) in flight, to elicit*

*predisposing conditions and factors, and to state their effect
on the quality of piloting. Statistics of aviation accidents (AAs)
in the aftermath of spatial disorientation (SD) over the period
of 2009–2013 was analyzed. It was shown that in-flight PIs
are experienced by 71 % pilots. In the period of observation,
the number of AAs reduced by one half from 16 to 8 AAs
per a year. During this period, in the Russian Federation
state aviation the specific weight of SD as a AAs cause grew
from 13 % in 2009 to 38 % in 2013 and as a cause for
catastrophe, from 22 % in 2009 to 60 % in 2013. The mean
SD specific weight in AAs and catastrophes made up 15 and
31 % respectively. Data of statistics analysis were used for
classification of SD causes and factors.*

Key words: flight, aviation accident, positional illusion,
flight safety, psychophysiological training.

УДК 623.74

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ГЛИКОГЕНА И ЛИПИДОВ В НЕЙТРОФИЛЬНЫХ ЛЕЙКОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ПРИ ДОНОЗОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ У ЛЕТНОГО СОСТАВА

Пащенко П.С.¹, Плахов Н.Н.², Буйнов Л.Г.³

¹Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого

²Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова МО РФ, Санкт-Петербург

³Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург

E-mail: nikplakhov@yandex.ru

Воздействие факторов полета на высокоманевренных самолетах приводит к существенному и более раннему развитию дезадаптационных явлений в организме летчика по сравнению с лицами нелетных профессий. Цель работы – оценка зависимости содержания гликогена и липидов сегментоядерных нейтрофильных лейкоцитов периферической крови летчиков от возраста и общего времени налета для донозологической диагностики дезадаптивных изменений в организме. Приведены результаты цитохимических исследований содержания гликогена и липидов нейтрофильных лейкоцитов периферической крови летчиков в период выполнения ими учебно-тренировочных полетов. Установлено, что стойкое увеличение содержания липидов в нейтрофильных лейкоцитах при уровне среднего цитохимического коэффициента выше 2,60, наряду с понижением содержания в этих клетках гликогена при уровне менее 2,00, свидетельствует о снижении энергетических запасов фагоцитов, ухудшении функциональной активности и развитии клеточной дезадаптации лейкоцитов периферической крови летчиков. Подобное состояние развивается как ответ организма летчика на комплексное воздействие факторов полета на высокоманевренных самолетах при общем времени налета более 1500 ч и возрасте пилотов 36 и более лет. Выявленные закономерности могут быть использованы при донозологической диагностике у летного состава.

Ключевые слова: летный состав, высокоманевренные самолеты, донозологическая диагностика, цитохимические исследования, нейтрофильные лейкоциты периферической крови, гликоген, липиды, возраст, стаж летной деятельности.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 4. С. 61–65.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-61-65

Концепция национальной безопасности Российской Федерации предусматривает, что в сфере здравоохранения стратегическими целями являются «...совершенствование профилактики и оказания своевременной квалифицированной первичной медико-санитарной и высокотехнологичной

медицинской помощи» [1]. Первичная профилактика патологических и препатологических расстройств имеет особое значение для сохранения профессионального здоровья специалистов, подвергшихся мультифакторному воздействию неблагоприятных факторов производственной среды. В методологическом аспекте оценка воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды включает 3 основных направления:

- социально-гигиенический и экологический мониторинг;
- эпидемиологические исследования;
- оценка риска здоровью и окружающей среде [2].

В настоящее время накопление сведений об условиях труда, влиянии факторов профессиональной среды на организм специалистов и систематизация результатов оценки здоровья в рамках превентивной медицины являются важным аспектом деятельности в части сохранения их профессионального здоровья и обеспечения психосоциального благополучия [3].

Оценка риска для здоровья в отношении профессиональной деятельности лиц опасных профессий чрезвычайно важна, так как влияние на их организм вредных факторов окружающей среды, зачастую экстремальных уровней, может существенно снижать состояние здоровья и приводить к аварийным ситуациям. В последнее десятилетие в условиях модернизации оборонного комплекса наблюдается изменение профиля деятельности летного состава, связанное со следующими особенностями:

- увеличение скоростных и маневренных характеристик летательных аппаратов;
- усложнение полетных заданий и условий управления техникой;
- повышение интенсивности учебно-тренировочной подготовки.

Воздействие факторов полета в указанных условиях на организм летчика приводит к росту гравитационных перегрузок и психоэмоционального напряжения,

снижению адаптационных резервов и негативному влиянию на профессиональное долголетие. Поэтому необходимым компонентом социально-гигиенического мониторинга деятельности летного состава служит донозологическая диагностика происходящих в их организме изменений для своевременного принятия квалификационных решений [4].

В ходе врачебно-летной экспертизы особое внимание приобретает диагностика субклинических форм заболеваний у летного состава [5–7]. При этом необходимо учитывать широкий спектр показателей функционального состояния организма [8].

В связи с этим актуальным направлением мониторинга является выбор валидных методик оценки функционального состояния организма летчиков, особенно в период выполнения учебно-тренировочных заданий.

Цель работы – оценка зависимости содержания гликогена и липидов сегментоядерных нейтрофильных лейкоцитов периферической крови летчиков от возраста и общего времени налета для донозологической диагностики дезадаптивных изменений в организме.

Методика

В исследовании приняли участие 77 летчиков, пилотирующих высокоманевренные самолеты (экспериментальная группа), в возрасте от 25 до 52 лет со стажем летной работы от 6 лет до 31 года. В зависимости от возраста и стажа летной деятельности обследуемые были разделены на 4 группы: 1-я группа состояла из молодых пилотов 25–30 лет, имеющих время налета от 500 до 1000 ч (27 человек); во 2-ю группу вошли летчики в возрасте от 31 года до 35 лет с временем налета 1001–1500 ч (16 человек); 3-ю группу составили летчики 36–40 лет с общим временем налета 1501–2000 ч (15 человек); в 4-ю группу вошли пилоты от 41 года до 52 лет с налетом свыше 2001 ч (19 человек). Все обследуемые не отличались по процентному соотношению лиц с разной массой тела в каждой из групп.

Контрольную группу составили 15 военнослужащих нелетных специальностей – инженеры и техники в возрасте 27–44 лет.

В соответствии с полетными заданиями пилоты выполняли по 3 полета в смену. За 20–30 мин до первого полета и по окончании смены проводился забор капли крови из пальца у всех обследуемых лиц с изготовлением мазков крови, последующей их фиксацией и окрашиванием для исследования на содержание в нейтрофильных лейкоцитах гликогена – по Мак-Манусу, а липидов – суданом черным [9, 10].

В исследованиях использовалась полуколичественная оценка содержания продукта цитохимической реакции в 100 лейкоцитах из каждого мазка крови.

Для оценки фагоцитоза по интенсивности окраски цитоплазмы лейкоциты разделили на 4 группы: с отрицательной реакцией (-), со слабоположительной (+), положительной (++) и резко положительной (+++). Количественное выражение реакции оценивалось путем вычисления среднего цитохимического коэффициента (СЦК) в зависимости от указанной дифференциации окрашивания лейкоцитов: полученный процент клеток умножают на соответствующее каждой группе число плюсов, а их сумма, разделенная на число подсчитанных клеток (100), представляет собой указанный коэффициент.

Выбор показателей содержания в нейтрофильных лейкоцитах гликогена и липидов в качестве маркеров метаболических процессов, происходящих в организме летчиков, обусловлен следующими фактами [10–12]: гликоген – резервный полисахарид, осуществляющий энергетическое обеспечение указанных процессов. Его накопление в нейтрофильных лейкоцитах позволяет косвенно судить о возрастании фагоцитарной активности, а снижение СЦК по сравнению с индивидуальной нормой, наоборот, о ее понижении.

Количество липидов в клетках-фагоцитах отражает уровень захвата ими жировых компонентов крови, в частности холестерина. Повышение интенсивности окрашивания липидов в лейкоцитах свидетельствует об усилении компенсаторно-приспособительной реакции организма, направленной на связывание избытка липидов в плазме крови, что способствует уменьшению их поступления в стенки сосудов. Подобное явление рассматривается как одна из важных функций фагоцитов в профилактике развития атеросклероза [13].

Следовательно, динамика цитохимической активности гликогена и липидов фагоцитов может свидетельствовать о степени влияния летной деятельности на обеспеченность клеток энергией и уровень их фагоцитарной активности, а также о накоплении в крови липидов как факторе риска развития атеросклероза.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с расчетом доверительных значений показателей по Стьюденту и корреляционных связей с использованием пакета прикладных программ STATGRAF.

Результаты и обсуждение

Результаты оценки цитохимической активности исследуемых показателей, полученных до полетов и по окончании летной смены, представлены в таблице.

Обращает на себя внимание факт достоверного снижения содержания гликогена в нейтрофильных лейкоцитах у летчиков со стажем летной деятельности более 1500 ч в возрасте 36 и более лет, что

Таблица

Содержание гликогена и липидов в нейтрофильных лейкоцитах периферической крови у лиц контрольной группы и летчиков в зависимости от возраста и общего времени налета, СЦК ($X \pm m$)

Показатели	Эпизоды деятельности	Контрольная группа	Группы летного состава			
			1-я	2-я	3-я	4-я
Гликоген	До полетов	2,64 $\pm$ 0,09	2,44 $\pm$ 0,14	2,22 $\pm$ 0,25	1,98 $\pm$ 0,08*	1,90 $\pm$ 0,01*
	После полетов	2,57 $\pm$ 0,11	2,53 $\pm$ 0,07	2,21 $\pm$ 0,18	1,88 $\pm$ 0,25*	1,92 $\pm$ 0,12
Липиды	До полетов	2,44 $\pm$ 0,14	2,61 $\pm$ 0,11	2,59 $\pm$ 0,13	2,68 $\pm$ 0,09	2,79 $\pm$ 0,14
	После полетов	2,51 $\pm$ 0,12	2,48 $\pm$ 0,13	2,51 $\pm$ 0,14	2,33 $\pm$ 0,12	2,82 $\pm$ 0,10*

Примечание. * – достоверные различия показателей в группах летного состава по сравнению с лицами контрольной группы.

было обнаружено как до, так и после окончания полетов. Результаты корреляционного анализа указанного показателя с параметрами возраста (годы), общего времени налета (часы) и стажа летной работы (годы) показали коэффициенты корреляции, равные соответственно +0,32; +0,56 и +0,25. Достоверная тесная связь отмечена между содержанием гликогена в фагоцитах и временем налета – +0,56 при $p < 0,05$.

Стойкое уменьшение содержания гликогена в клетках является характерным для лиц старших возрастных категорий и формируется у них в среднем после 50 лет [12]. Обнаруженные нами изменения показателя могут свидетельствовать о более раннем развитии клеточной дезадаптации у летчиков высокоманевренных самолетов, в возрасте от 40 лет и старше (см. табл.).

Достоверное понижение содержания гликогена и повышение уровня липидов в протоплазме фагоцитов крови у летчиков с общим временем налета более 1500 ч можно определить как стойкое состояние цитохимической активности клеток, так как оно наблюдалось не только в ответ на летную нагрузку (после смены), но и перед полетами. При этом указанные уровни СЦК исследуемых метаболитов достоверно отличались либо имели тенденцию к отличию от показателей у лиц контрольной группы или молодых летчиков с налетом менее 1500 ч.

По-видимому, насыщенные липидами фагоциты крови (до субмаксимальных значений при СЦК = 2,60–2,90) у летчиков старших возрастных групп теряют либо ухудшают способность к липофагоцитозу, что является одной из причин гиперлипидемий у летного состава и снижения иммунной активности их организма [11]. Это подтверждает тот факт, что у данной категории летного состава в мазках крови, окрашенных суданом черным, наблюдаются

не подвергшиеся фагоцитозу капли липидов, часть из которых налипает и на оболочки эритроцитов, уменьшая тем самым площадь их рабочей поверхности, приводя к функциональной недостаточности этих клеток в обеспечении тканей кислородом.

Фагоцитарная активность нейтрофилов ухудшается также за счет уменьшения с возрастом содержания в них гликогена [9–12].

Следовательно, стойкое увеличение содержания липидов в нейтрофильных лейкоцитах при СЦК выше 2,60, наряду с понижением содержания в них гликогена при уровне СЦК менее 2,00, свидетельствует о снижении энергетических запасов фагоцитов, ухудшении функциональной активности и развитии явления клеточной дезадаптации лейкоцитов периферической крови летчиков. Подобное состояние развивается как ответ организма летчика на воздействие факторов полета на высокоманевренных самолетах при общем времени налета более 1500 ч.

По нашему мнению, результаты цитохимических исследований функционального состояния лейкоцитов периферической крови достоверно отражают состояние функций и работоспособности организма летчиков в процессе их профессиональной деятельности. Методики исследований достаточно просты, надежны и могут быть использованы непосредственно в период выполнения профессиональных заданий. Так, в качестве примера следует привести вариант оценки нарушения процесса липофагоцитоза у летного состава с использованием описанных методик:

1. Выявление липидов в мазках периферической крови проводится путем забора капли крови из пальца, изготовления мазков, их фиксации, окрашивания и последующей оценки среднего цитохимического коэффициента, как указано в разделе «Методика».

2. Оценку изменений функции липофагоцитоза необходимо проводить с учетом следующих рекомендаций:

– если СЦК превышает должные значения (более 2,60) при отсутствии капель жира в мазке, это явление следует рассматривать в качестве напряженного липофагоцитоза, требующего ограждения летчика от полетов и стрессирующих факторов службы на 24 ч;

– обильное окрашивание суданом черным капель липидов в межклеточном пространстве, а также на поверхности эритроцитов в поле зрения является свидетельством нарушения функции липофагоцитоза, для восстановления которой требуется порядка 48 ч (время обновления гранулоцитов), при условии отсутствия воздействия летной нагрузки;

– если СЦК ниже нормы (менее 2,20) – это свидетельствует о депрессии липофагоцитарной функции нейтрофильных лейкоцитов, что может способствовать развитию атеросклероза, ишемической болезни сердца, отражать наличие очагов хронической инфекции. Это явление приводит к необходимости проведения дополнительного обследования летчика.

Таким образом, учитывая важность проведения донозологической диагностики состояния здоровья летного состава, следует отметить тот факт, что результаты цитохимических исследований позволяют достоверно и в ранние сроки оценивать уровень развития доклинических дезадаптивных изменений в организме летчика на клеточном и субклеточном уровнях. На важность такого уровня клинико-лабораторных показателей указывается в ряде практических исследований по оценке условий профессиональной деятельности летного состава [4–6, 11–13].

По результатам донозологической диагностики целесообразно проведение как организационных, так и санитарно-гигиенических мероприятий, направленных на уменьшение неблагоприятного влияния комплекса специфических факторов летной деятельности на организм пилотов. Важность такого подхода показана в период автономного похода авианесущего корабля на основе оценки сочетанного действия на организм летчиков палубной авиации факторов плавания и полетов над морем [14].

Выводы

1. Методика цитохимической оценки содержания гликогена и липидов в нейтрофильных лейкоцитах периферической крови летного состава является доступным и надежным способом контроля функционального состояния летчиков и может быть использована при донозологической диагностике и для решения задач врачебно-летной экспертизы.

2. Состояние клеточной дезадаптации по результатам оценки содержания гликогена и липидов в нейтрофильных лейкоцитах периферической крови летного состава развивается, по нашим данным, как ответ организма летчика на воздействие факторов полета на высокоманевренных самолетах при общем времени налета более 1500 ч при возрасте пилотов 36 и более лет.

3. Основанием для проведения лечебно-профилактических мероприятий является стойкое увеличение содержания липидов в нейтрофильных лейкоцитах на уровне показателя СЦК выше 2,60, наряду с понижением содержания в них гликогена при уровне СЦК менее 2,00.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 12.05.2009 г. № 537 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года».

Decree of the President of the Russian Federation, 12.05.2009, № 537 «On the National Security Strategy of the Russian Federation until 2020».

2. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. Окружающая среда и здоровье: приоритеты профилактической медицины // Гигиена и санитария. 2014. Т. 93. № 5. С. 5–10.

Rakhmanin Yu.A., Mikhailova R.I. Environment and health: priorities of preventive medicine // Gigiena i sanitariya. 2014. V. 93. № 5. P. 5–10.

3. Бухтияров И.В., Денисов Э.И. Цифровая экономика: система автоматизированного управления условиями труда, факторами риска и развитие информационной гигиены // Медицина труда и промышленная экология. 2017. № 10. С. 54–58.

Bukhtiyarov I.V., Denisov E.I. Digital economy: the system of automated management of working conditions, risk factors and the development of information hygiene // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2017. № 10. P. 54–58.

4. Ушаков И.Б., Симакова Т.Г., Зина О.М. и др. Использование донозологического подхода при решении задач врачебно-летной экспертизы // Авиакосм. и экол. мед. 2014. Т. 48. № 6. С. 16–22.

Ushakov I.B., Simakova T.G., Zina O.M. et al. The use of the donosological approach in solving the problems of medical-flight expertise // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2014. T. 48. № 6. P. 16–22.

5. Пухов В.А., Иванов И.В., Чепур С.В. Оценка функционального состояния организма военных специалистов: научно-практическое руководство / И.Б. Ушаков, ред. СПб., 2016.

Puchov V.A., Ivanov I.V., Chepur S.V. Functional state estimation of military specialists. St. Petersburg, 2016.

6. Клинико-функциональная диагностика, профилактика и реабилитация профессионально обусловленных нарушений и субклинических форм заболеваний у летного состава: Практическое руководство по

авиационной клинической медицине / Р.А. Вартбаронов, ред. М., 2011.

Clinical and functional diagnosis, prevention and rehabilitation of professionally caused disorders and subclinical disease in flight personnel: Practical guide to aviation clinical medicine / Vartbaronov R.A., ed. Moscow, 2011.

7. Ушаков И.Б., Рогожников В.А., Поляков М.В. и др. Основы авиационной и космической медицины. М., 2007.

Ushakov I.B., Rogozhnikov V.A., Polyakov M.V. et al. The fundamentals of aviation and space medicine. Moscow, 2007.

8. Атлас по авиационной и космической медицине / И.Б. Ушаков, В.А. Рогожников, ред. М., 2008.

Atlas of aviation and space medicine / Ushakov I.B., Rogozhnikov V.A., eds. Moscow, 2008.

9. Лецкий В.Б. Цитохимические исследования лейкоцитов. Возрастные колебания цитохимических показателей. Л., 1973.

Letsky V.B. Cytochemical studies of leukocytes. Age fluctuations of cytochemical parameters. Leningrad, 1973.

10. Морозова В.Т., Золотницкая Р.П. О цитохимических исследованиях клеток крови // Лабораторное дело. 1974. № 11. С. 643–649.

Morozova V.T., Zolotnitskaya R.P. About cytochemical studies of blood cells // Laboratornoe delo. 1974. № 11. P. 643–649.

11. Пашченко П.С. Регуляторные системы организма в условиях гравитационного стресса. СПб., 2007.

Pashchenko P.S. Regulatory systems of the body under conditions of gravitational stress. St. Petersburg, 2007.

12. Германов В.А., Сергеева Т.М. Возрастные изменения цитохимических показателей крови // Лабораторное дело. 1972. № 4. С. 214–215.

Germanov V.A., Sergeeva T.M. Age changes in cytochemical indicators of blood // Laboratornoe delo. 1972. № 4. P. 214–215.

13. Дильман В.М. Большие биологические часы. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1986.

Dilman V.M. Big biological clock. 2nd ed., rev. and add. Moscow, 1986.

14. Писарев А.А., Никифоров Д.А., Зуева Л.В., Маткевич Е.И. Самооценка влияния факторов обитаемости на профессиональную деятельность летного состава палубной авиации в ходе дальнего морского похода // Современные проблемы военной медицины, обитаемости и профессионального отбора. Матер. Всерос. науч.-практ. конф. СПб., 2011. С. 102.

Pisarev A.A., Nikiforov D.A., Zueva L.V., Matkevich E.I. Self-assessment of the influence of occupancy factors on the professional activities of the deck aviation personnel during the long sea cruise // Modern problems of military medicine, habitability and professional selection. Materials of the all-Russian scientific and practical conference. St. Petersburg, 2011. P. 102.

Поступила 22.02.2018

ASSESSMENT OF GLYCOGEN AND LIPID CONTENTS IN NEUTROPHIL LEUKOCYTES OF PERIPHERAL BLOOD DURING PRENOSOLOGICAL DIAGNOSTICS OF FLIGHT PERSONNEL

Pashchenko P.S., Plakhov N.N., Buynov L.G.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 4. P. 61–65

The flight factors in highly maneuverable aircrafts lead to a significant and early progress of de-adaptive shifts in pilot's organism in comparison with people of non-flying occupations. Purpose of the work was to find out whether glycogen and lipid contents in segmentated cells of peripheral blood neutrophils of pilots depend on age and total flight hours, and to use findings for prenosological diagnostics of de-adaptive shifts in organism. Based on the data of cytochemical investigations of blood taken from pilots after training flights, durable increases in lipids of neutrophil leukocytes with the mean cytochemical index exceeding 2.60 and decreases in glycogen with MCI below 2.00 point to degradation of phagocytes energy reserves, decline in the functional activity, and leukocyte cell de-adaptation. This profile is a reaction of 36 or older organism to more than 1500 hours of flying maneuverable spacecrafts. The findings can be useful for prenosology diagnostics of flying personnel.

Key words: flying personnel, highly maneuverable aircraft, prenosological diagnostics, cytochemical investigation, neutrophil leukocytes in peripheral blood, glycogen, lipids, age, length of aircraft carrier.

УДК 612.886

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КУРСОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОРТЕКСИНА И ТРЕНИРОВОК МЫШЦ ШЕИ В ПОВЫШЕНИИ СТАТОКИНЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Буйнов Л.Г.¹, Благинин А.А.², Сорокина Л.А.¹, Краснов А.А.¹

¹Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург

²Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

E-mail: buynoff@yandex.ru

Цель работы – исследование эффективности курсового применения пептидного биорегулятора кортексина в сочетании с тренировками мышц шеи (ТМШ) в повышении статокинетической устойчивости человека. В качестве адекватного раздражителя вестибулярного аппарата использовался метод непрерывной кумуляции ускорений Кориолиса (НКУК); для повышения статокинетической устойчивости применялся кортексин (интраназально по 5 мг) в сочетании с ТМШ.

У испытуемых экспериментальной группы, получавших кортексин в сочетании с ТМШ, время переносимости НКУК увеличилось на 25,9 % по сравнению с исходными показателями. Наряду с этим, имело место снижение выраженности вестибулосенсорных/вегетативных/соматических реакций, что свидетельствовало о лучшей переносимости испытуемыми экспериментальной группы пробы НКУК.

Ключевые слова: функциональное состояние, самочувствие, укачивание, профессиональная работоспособность, кортексин, тренировка мышц шеи.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 4. С. 66–70.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-66-70

Научно-технический прогресс последних десятилетий способствует значительному расширению парка разнообразных средств передвижения, которые человечество использует в своей повседневной жизнедеятельности. Увеличивается не только количество и разнообразие средств передвижения, возрастает и их энерговооруженность, что приводит к увеличению скоростных и маневренных характеристик последних. Сегодня практически все активное население планеты пользуется различными средствами передвижения воздушного, наземного и морского видов транспорта. При этом необходимо иметь в виду, что увеличение скорости и маневренности зачастую влекут за собой увеличение силы и продолжительности неблагоприятного воздействия на организм человека динамических факторов передвижения [1–4].

Кроме этого, постоянно меняющиеся скоростные режимы и напряженный ритм деятельности все

чаще провоцируют возникновение у человека повышения уровня нервно-эмоционального напряжения, что в свою очередь, ведет к преждевременному развитию утомления. Это приводит к ухудшению самочувствия и точности управляющих движений, увеличению количества ошибочных действий, что негативно влияет на качество управления скоростным средством передвижения.

Последнее обстоятельство, при недостаточности психофизиологических резервов организма, неизбежно ведет не только к ухудшению техники управления транспортным средством, но и с высокой долей вероятности может повлиять на безопасность передвижения [1, 3].

Одной из причин снижения профессиональной работоспособности и надежности человека, управляющего высокоскоростным транспортным средством, является недостаточность уровня статокинетической устойчивости. Анализ статистических данных свидетельствует о том, что число инцидентов, аварий и катастроф, произошедших из-за нарушения пространственной ориентировки, возникновения иллюзорных ощущений на основе развития симптомокомплекса укачивания, за последние десятилетия имеет тенденцию к увеличению [1–3].

Данная негативная тенденция настоятельно требует поиска новых и совершенствования имеющихся подходов в решении проблемы расширения функциональных диапазонов и увеличения резервных возможностей организма человека с целью сохранения и повышения работоспособности, а значит, и профессиональной надежности.

До недавнего времени методологическая концепция функционирования вестибулярного анализатора, антигравитационной и статокинетической устойчивости человека базировалась на чисто рефлекторных механизмах развития вестибулосоматических/вегетативных/сенсорных реакций организма человека и отражала принцип морфологической системности, в рамках которой невозможно было объяснить причину и механизм ее снижения.

В настоящее время принято считать, что ответная реакция организма на статокINETические воздействия является интегральной составляющей реакций всех сенсорных систем человека. Понимание этого ориентирует специалистов, занимающихся разработкой и совершенствованием средств и методов повышения статокINETической устойчивости, на применение перспективного методологического подхода с позиции теории функциональных систем П.К. Анохина [5, 6].

Этот подход должен формироваться на основе следующих принципиально новых теоретических положений:

- целостная оценка реакций организма человека на действие разнообразных факторов передвижения, в основе которых лежит организующая роль центральной нервной системы (ЦНС) в формировании единой функциональной системы статокINETической устойчивости;
- основной целью формирования ЦНС единой функциональной системы статокINETической устойчивости является достижение конечного приспособительного результата действия, обеспечивающего оптимальные показатели качественной профессиональной деятельности;
- единая функциональная система статокINETической устойчивости, реализуя принцип доминанты на основе мультианализаторного афферентного синтеза, формирует программу предстоящего действия и на основе афферентной обратной связи контролирует, а в случае необходимости корректирует действия соподчиненных функциональных систем для достижения полезного приспособительного результата.

Данный методологический подход диктует необходимость обязательной оптимизации деятельности ЦНС в сочетании с повышением устойчивости и улучшением слаженности в работе всех сопряженных с ней функциональных систем к адекватному ответу на действие динамических факторов передвижения [1–3].

Целью работы являлось исследование эффективности 2-недельного применения пептидного биорегулятора кортексина в сочетании с тренировками мышц шеи в повышении статокINETической устойчивости человека.

Методика

Исследования проводились в первой половине дня на кафедре авиационной и космической медицины Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. В роли испытуемых выступали мужчины в возрасте 20–21 года, имеющие диагноз «здоров».

Вестибулярная устойчивость исследовалась при помощи пробы непрерывной кумуляции ускорений Кориолиса (НКУК), выполняемой и оцениваемой по традиционной методике на кресле R. Barany.

Экспериментальная (15 человек) и контрольная (10 человек) группы были сформированы из числа лиц, время переносимости НКУК которых составляло менее 2 мин. В ходе исследований испытуемые экспериментальной группы ежедневно в течение 2 нед получали кортексин и выполняли тренировки мышц шеи (ТМШ). Испытуемые контрольной группы получали дистиллированную воду, ТМШ не выполняли.

Приготовленный накануне раствор кортексина мерной пипеткой Мора (по 7 капель) вводился в каждую половину носа 2 раза в день (10 мг кортексина + 3 мл 0,9%-ного водного раствора NaCl).

Техника выполнения ТМШ включала в себя 2 упражнения:

- упражнение № 1 – исходное положение лежа на гимнастической скамейке на спине, голова на весу. Вшитый в шлемофон груз 500 г усложнял работу мышц, наклоняющих голову к груди;
- упражнение № 2 – исходное положение лежа на гимнастической скамейке на спине, голова на весу. Резиновая лента, охватывающая голову со стороны затылка и закрепленная на 0,8 м выше уровня скамейки, препятствовала работе мышц, разгибающих голову назад.

В обоих упражнениях испытуемый равномерно отклонял голову вверх и вниз, делая 1 движение за 2 с. Угол отклонения составляет 30°, длительность выполнения каждого упражнения составляла 5 мин, перерыв между упражнениями 5 мин.

На 1-й и 3-й минутах ТМШ вводилась дополнительная нагрузка на ЦНС испытуемых в виде решения в слух предлагаемых им арифметических задач, что оказывало тормозное влияние на чувствительность анализаторных систем к статокINETическим воздействиям, тем самым способствуя ускорению адаптации к НКУК [2, 3].

Сразу после НКУК при помощи стабилграфа СТ-02 выполнялся статический стабилметрический тест комплексной функциональной компьютерной стабилграфии (КФКС), состоящий из 2 проб: проба № 1 проводилась с открытыми глазами и фиксацией взгляда на удаленном (5 м) объекте; проба № 2 выполнялась с закрытыми глазами. Длительность проведения проб составляла 20 с, перерыв между пробами составлял 1 мин. Во время перерыва испытуемый сохранял устойчивую позу без перемены позиций стоп. При этом регистрировались средняя скорость увеличения длины и площади статокИНЕОграммы, амплитуда колебаний (АК) и коэффициент асимметрии (КА) проекции общего центра тяжести (ПОЦТ) в сагиттальной и фронтальной плоскостях и направлениях соответственно.

Статистическая обработка полученных материалов проводилась с использованием программного пакета Microsoft Excel. Для каждой выборки показателей рассчитывались числовые характеристики

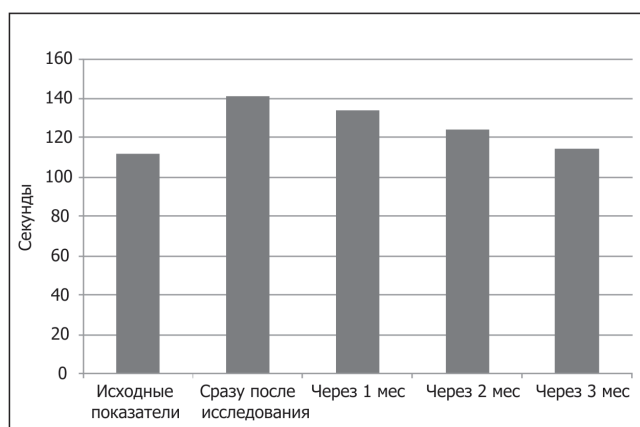


Рисунок. Динамика показателей времени переносимости НКУК.

НКУК – непрерывная кумуляция ускорений Кориолиса. Столбцы: «Исходные показатели» – показатели времени переносимости НКУК в секундах до применения кортексина и ТМШ; «сразу после исследования» – показатели времени переносимости НКУК в секундах сразу после 2-недельного применения кортексина и ТМШ; «через 1 мес» – показатели времени переносимости НКУК в секундах сразу после месячного перерыва от момента окончания 2-недельного применения кортексина и ТМШ; «через 2 мес» – показатели времени переносимости НКУК в секундах сразу после 2-месячного перерыва от момента окончания 2-недельного применения кортексина и ТМШ; «через 3 мес» – показатели времени переносимости НКУК в секундах сразу после 3-месячного перерыва от момента окончания 2-недельного применения кортексина и ТМШ.

распределения. Оценка значимости различий между сравниваемыми выборками осуществлялась с использованием параметрического t-критерия Стьюдента.

Полученные результаты позволяют говорить о том, что у испытуемых экспериментальной группы, в течение 2 нед получавших кортексин в сочетании с ТМШ, достоверно значимо увеличилось время переносимости НКУК. При этом выраженность вестибулосенсорных/вегетативных/соматических реакций также стала меньше, что свидетельствует о том, что испытуемые этой группы стали лучше переносить моделируемые в лабораторных условиях статокINETические воздействия. В то же время ни по одному из изучаемых показателей, достоверно значимых изменений по сравнению с исходными данными, у испытуемых контрольной группы выявлено не было (табл. 1).

Отмеченная положительная динамика улучшения переносимости статокINETических нагрузок испытуемыми экспериментальной группы и отсутствие таковой у испытуемых контрольной группы подтверждается и данными статического стабилометрического теста КФКС (табл. 2).

Одной из задач, решаемых нами в ходе настоящих исследований, было определение продолжительности сохранения достигнутого противоукачивающего эффекта от курсового применения кортексина в сочетании с ТМШ. С этой целью исходные показатели времени переносимости НКУК и выраженности вестибулосенсорных/вегетативных/соматических реакций каждой группы сравнивались с аналогичными показателями, полученными сразу после 2-недельного применения кортексина в сочетании с ТМШ, затем эти же показатели определялись через 1, 2 и 3 мес.

Полученные данные свидетельствуют о том, что наибольшее значение времени переносимости НКУК у испытуемых экспериментальной группы было отмечено сразу после курсового применения кортексина в сочетании с ТМШ. Однако затем время переносимости НКУК стало постепенно уменьшаться и через 1 ($139,0 \pm 12,7$), 2 ($127,1 \pm 11,8$), 3 ($115,4 \pm 10,6$) месяца практически возвратилось ($112,0 \pm 11,6$) к исходному значению (рисунок).

Выбор пептидного биорегулятора кортексина был обусловлен тем, что он не оказывает негативного влияния на качество выполнения операторской деятельности, требующей повышенной концентрации внимания и быстроты психомоторных реакций, в частности, управления высокоскоростными, маневренными средствами передвижения. В основе положительного влияния от курсового применения кортексина лежит эффект каскадного регуляторного воздействия на нейроны коры головного мозга, суть которого состоит в том, что кортексин, являясь тканеспецифическим препаратом, оказывает выраженное оптимизирующее воздействие на энергетический и пластический метаболизм нейронов, одновременно способствуя активному выделению в кровотоки эндогенных регуляторов, в том числе регуляторных пептидов, которые, в свою очередь, инициируют лавинообразное высвобождение новой каскадной серии регуляторов [7].

Использование кортексина при воздействии статокINETических нагрузок создает условия для улучшения как аэробного, так и анаэробного окисления не только в структурах головного мозга, но и в вестибулярном и других анализаторах, способствует ликвидации состояния гипоксии и утилизации накапливающихся недоокисленных продуктов, нормализуя показатели, характеризующие биоэнергетику и гомеостаз на клеточном уровне. Все это улучшает функциональное состояние и деятельность ЦНС и соподчиненных ей анализаторных систем [3, 7].

Физические упражнения как регулярные и нормированные тренировки способствуют повышению тонуса сосудов, улучшают работу сердечно-сосудистой системы и функцию внешнего дыхания, оптимизируют газообмен, окислительно-восстановительные процессы, улучшают биоэлектрическую

Таблица 1

**Функциональные показатели испытуемых до и после курсового применения
кортексина в сочетании с ТМШ**

№ п/п	Определяемые показатели	Экспериментальная группа (М ± m)		Контрольная группа (М ± m)	
		До	После	До	После
1	Время переносимости НКУК, с	112,0 ± 11,6	141,1 ± 12,9*	107,1 ± 11,9	109,2 ± 11,5
2	Ощущение чувства жара, баллы	0,6 ± 0,03	0,3 ± 0,02*	0,5 ± 0,04	0,5 ± 0,03
3	Ощущение тяжести в голове, баллы	0,5 ± 0,04	0,2 ± 0,03*	0,6 ± 0,04	0,6 ± 0,05
4	Ощущение головокружения, баллы	0,8 ± 0,05	0,5 ± 0,04*	0,8 ± 0,05	0,8 ± 0,04
5	Неприятное чувство в желудке, баллы	0,6 ± 0,04	0,4 ± 0,05*	0,5 ± 0,06	0,6 ± 0,08
6	Выраженность гиперсаливации, баллы	0,7 ± 0,06	0,5 ± 0,06*	0,7 ± 0,09	0,7 ± 0,8
7	Выраженность гипергидроза, баллы	0,8 ± 0,07	0,6 ± 0,08*	0,8 ± 0,07	0,8 ± 0,09
8	Выраженность защитных движений, баллы	0,9 ± 0,08	0,6 ± 0,09	0,8 ± 0,09	0,8 ± 0,07
9	Продолжительность нистагма, с	18,3 ± 1,8	14,6 ± 1,6	19,4 ± 1,9	18,9 ± 2,0
10	Индекс Робинсона, отн. ед.	99,4 ± 7,2	95,8 ± 8,1	96,8 ± 8,1	97,9 ± 8,9
11	Индекс Старра, отн. ед.	65,6 ± 5,8	69,3 ± 6,1	70,0 ± 9,4	68,5 ± 8,6
12	Минутный объем кровообращения, отн. ед.	134,2 ± 9,8	140,8 ± 9,9	138,0 ± 10,1	135,4 ± 9,6
13	Количество испытуемых в группе	15	15	10	10

Примечание. * – $p < 0,05$ по сравнению с исходными данными.

Таблица 2

**Показатели статического стабилметрического теста КФКС до и после курсового применения
кортексина в сочетании с ТМШ**

№ п/п	Исследуемые показатели	Экспериментальная группа (М ± m)		Контрольная группа (М ± m)	
		До	После	До	После
Проба с открытыми глазами					
1	Скорость увеличения длины, мм/с	37,3 ± 3,0	28,1 ± 2,1*	38,4 ± 2,7	36,9 ± 3,0
2	Скорость увеличения площади, мм²/с	61,4 ± 5,0	46,6 ± 3,2*	67,3 ± 4,3	70,1 ± 5,2
3	АК ПОЦТ, фронтальная плоскость, мм	6,5 ± 0,6	5,1 ± 0,5*	6,9 ± 0,8	7,2 ± 0,9
4	АК ПОЦТ, сагиттальная плоскость, мм	7,3 ± 0,7	5,7 ± 0,5*	7,6 ± 0,8	8,0 ± 0,9
5	КА, фронтальное направление, %	8,7 ± 0,7	6,0 ± 0,6*	7,8 ± 0,7	7,9 ± 0,8
6	КА, сагиттальное направление, %	8,8 ± 0,8	6,2 ± 0,7*	8,2 ± 0,8	8,4 ± 0,9
Проба с закрытыми глазами					
7	Скорость увеличения длины, мм/с	42,3 ± 4,2	32,1 ± 4,3*	60,9 ± 4,3	59,3 ± 4,2
8	Скорость увеличения площади, мм²/с	70,8 ± 6,0	53,6 ± 3,9*	78,1 ± 5,4	77,2 ± 6,1
9	АК ПОЦТ, фронтальная плоскость, мм	8,5 ± 0,6	6,6 ± 0,7*	8,1 ± 0,7	7,9 ± 0,8
10	АК ПОЦТ, сагиттальная плоскость, мм	9,0 ± 0,8	6,7 ± 0,6*	9,2 ± 1,0	9,5 ± 0,9
11	КА, фронтальное направление, %	9,2 ± 0,7	6,8 ± 0,6*	9,1 ± 0,8	9,3 ± 0,9
12	КА, сагиттальное направление, %	9,4 ± 0,9	7,1 ± 0,7*	9,8 ± 0,9	9,6 ± 0,8

Примечание. * – $p < 0,05$ по сравнению с исходными данными.

активность и усиливают возбудительные процессы в структурах ЦНС и анализаторах. В целом способствуют повышению выносливости и работоспособности человека [2].

В основе повышения уровня статокINETической устойчивости под влиянием ТМШ лежит изменение порога чувствительности вестибулярного, зрительного, интероцептивного, кожно-механического и проприоцептивного анализаторов, что способствует адекватному и более быстрому формированию единой системы статокINETической устойчивости и соответственно улучшению функции равновесия [1, 3].

Резюмируя вышеизложенное, можно говорить о том, что 2-недельное применение кортексина в сочетании с ТМШ способствует ускорению процесса адаптации и формированию единой функциональной системы статокINETической устойчивости, что позволяет человеку дольше переносить пробу НКУК.

Выводы

1. Двухнедельное применение кортексина в сочетании с ТМШ увеличивает время переносимости пробы НКУК, одновременно уменьшая выраженность вестибулосенсорных/вегетативных/соматических реакций.

2. Наибольший уровень статокINETической устойчивости (по данным переносимости пробы НКУК) отмечается сразу после курсового применения кортексина в сочетании с ТМШ, затем он постепенно снижается и к исходу 3-го месяца возвращается к исходному уровню.

Список литературы

1. Козлов В.В., Мединцев И.И. Человек и безопасность полетов: Научно-практические аспекты снижения авиационной аварийности по причине человеческого фактора. М., 2013.

Kozlov V.V., Medincev I.I. Human and flight security: scientific and practical aspects of aviation accident reduction due to the human factor. Moscow, 2013.

2. Бадалов В.И., Беляков К.В., Бойко Э.В. и др. Медицина чрезвычайных ситуаций. Организация. Клиника. Диагностика. Лечение. Реабилитация. Инновации. Казань, 2015.

Badalov V.I., Belyakov K.V., Boyko E.V. et al. Medicine of emergency situations. Organization. Clinic. Diagnostics. Treatment. Rehabilitation. Innovation. Kazan, 2015.

3. Буйнов Л.Г., Сорокина Л.А. Профилактика летных происшествий и воздушных катастроф. Оценка

вестибулярной устойчивости летно-подъемного состава из различных климатогеографических регионов мира (с учетом национальной принадлежности, состояния здоровья и социально-бытовых условий). Казань, 2015.

Buynov L.G., Sorokina L.A. Prevention of flight accidents and air disasters. Evaluation of the vestibular stability of flight and technical personnel from various climatic and geographical regions of the world (taking into account nationality, health status and social conditions). Kazan, 2015.

4. Buynov L., Glaznikov L., Egorov V. et al. Victims in emergency situations, management trauma and PTSD, pharmacology, rehabilitation, innovations. USA, 2014.

5. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. М., 1975.

Anokhin P.K. Essays on the physiology of functional systems. Moscow, 1975.

6. Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональной системы. М., 1980.

Anokhin P.K. Main questions of the theory of a functional system. Moscow, 1980.

7. Malinin V., Khavinson V. Effect of peptides on the chromosome. Gerontological aspects of genome peptide regulation. Moscow, 2005. P. 40–51; <https://doi.org/10.1159/000085316>.

Поступила 24.01.2018

TESTING EFFECTIVENESS OF THE CORTEXIN COURSE AND NECK MUSCLES TRAINING FOR IMPROVEMENT OF HUMAN STATOKINETIC STABILITY

Buynov L.G., Sorokina L.A., Blaguinin A.A., Krasnov A.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 4. P. 66–70

The purpose of experiment was to evaluate effectiveness of combining a course treatment with intranasal peptide bioregulator cortexin (5 mg) and neck muscle training (NMT) in improvement of statokinetic stability. The vestibular system was stimulated adequately using the method of continuous Coriolis acceleration cumulation (CCAC).

In a group of volunteers for the experiment time of CCAC tolerance increased 25.9 % compared to the baseline data. Also, weakening of the vestibulo-sensory-autonomic reactions suggested a better CCAC tolerance by the experimental group.

Key words: functional state, general state, motion sickness, vocational efficiency, cortexin, neck muscle training.

УДК 615.03+577.346

ВЛИЯНИЕ НЕЙРОПЕПТИДА СЕМАКС НА ПОКАЗАТЕЛИ ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РЕАКЦИИ И СИЛУ СКЕЛЕТНОЙ МУСКУЛАТУРЫ МЫШЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ ПРОТОНАМИ

Ляхова К.Н.^{1, 2, 4}, Иванов А.А.^{1, 2, 3}, Молоканов А.Г.¹, Северюхин Ю.С.^{1, 2, 4},
Утина Д.М.^{1, 2, 4}, Красавин Е.А.^{1, 4}

¹Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна

²Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

³Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

⁴Государственный университет «Дубна», г. Дубна

E-mail: lyakhovakn@mail.ru

Изучено влияние нейропептида Семакс на показатели поведенческой исследовательской реакции и силу скелетной мускулатуры у мышей при действии протонов. Эксперименты проведены на самках аутбредных мышей ICR (CD-1), SPF-категории. Животных облучали в пике Брэгга протонами с начальной энергией 170 МэВ при толщине дополнительного замедлителя 190 мм. Дозы облучения на входе составляли 1 и 1,25 Гр, что соответствует 2,28 и 2,85 Гр в тканях облучаемых животных.

Установлено, что препарат Семакс на 7-е сутки после облучения при многократном (в течение 7 сут) интраназальном введении положительно влияет на сохранность показателя ориентировочно-исследовательской реакции (ОИР), нарушенной у облученных животных. Препарат нормализует показатель эмоционального статуса (ЭС) на 7-е сутки после воздействия облучения. В пострадикационный период отмечено позитивное влияние Семакса на соотношение величин ОИР/ЭС. Показано, что облучение снижает величину силы скелетной мускулатуры мышей. Применение Семакса восстанавливает уровень данного показателя, поднимая его до значений, присущих контрольной группе.

Ключевые слова: Семакс, протоны, мыши, «открытое поле», неврологический статус, эмоциональный статус, ориентировочно-исследовательская реакция, сила скелетной мускулатуры.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 4. С. 71–76.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-71-76

К числу актуальных и слабо изученных проблем нейрорадиобиологии относятся вопросы модификации нарушений высших интегративных функций центральной нервной системы средствами фармакохимической защиты при действии ионизирующих излучений с разными физическими характеристиками. Прежде всего, это касается эффектов, индуцированных ускоренными заряженными частицами.

Значительные успехи радиационных фармакологов в области разработки средств купирования клинических проявлений первичной реакции организма при действии больших доз радиации [1] не решают проблем, возникающих в неврологическом статусе при хроническом облучении [2] и действии малых доз облучений [3]. В наибольшей степени это относится к нарушениям, вызванным влиянием излучений с высокой линейной передачей энергии (ЛПЭ), что крайне актуально при решении проблем космической радиобиологии. При анализе радиобиологических эффектов космических излучений при пилотируемых полетах в дальний космос следует иметь в виду наличие в их составе не только протонов высоких энергий, но и тяжелых заряженных частиц, обладающих высокой биологической эффективностью. Характер передачи энергии тяжелыми ионами («эффект пули») при прохождении через ткани обуславливает совершенно иной тип их воздействия на организм в условиях полета в дальнем космосе. Это обстоятельство может определять развитие радиационных синдромов, принципиально отличных от наблюдаемых при действии редкоионизирующих космических излучений. С учетом этого необходимо иметь в виду возможное формирование нарушений со стороны центральной нервной системы (ЦНС) космонавтов, которые могут вызвать нарушения операторской деятельности экипажа еще во время полета [4]. Такой вывод подтверждается в экспериментах по облучению лабораторных животных высокоэнергетичными ионами железа в дозах, соответствующих реальным потокам галактических ядер железа при полете к Марсу. В этих опытах выявляются различные нарушения со стороны ЦНС облученных животных [5–7]. Через 1,5–3 мес после облучения они проявляются в выраженных нарушениях пространственной ориентации, угнетении когнитивных функций. Об этом же свидетельствуют

данные о снижении уровня ряда нейромедиаторов (в частности, серотонина) и наличие поведенческих расстройств у грызунов и приматов (Масаса mulatta) возбудимого неуравновешенного типа высшей нервной деятельности [8, 9] после облучения высокоэнергетичными ионами углерода.

Осуществить защитные мероприятия от поражающего действия заряженных частиц, исходящих из глубин галактики, методами физической защиты к настоящему времени не представляется возможным. В связи с этим приобретают актуальность исследования, касающиеся поиска средств фармакохимической защиты, купирующих нарушения высших интегративных функций ЦНС при действии космических видов излучений. Одним из перспективных препаратов, способных специфически купировать радиационные нарушения в ЦНС, является препарат – Семакс». Медицинский препарат – нейропептид с торговым названием Семакс, имеет химическое название: метионил-глутамил-гистидил-фенилаланил-пролил-глицил-пролин. Семакс относится к фармацевтической группе ноотропных средств и выпускается в лекарственной форме: капли назальные 0,1 % [10]. Препарат влияет на процессы, связанные с формированием памяти и обучением, усиливает внимание при обучении и анализе информации, улучшает консолидацию памятного следа у пациентов после нейрохирургических вмешательств, черепно-мозговой травмы, при cerebro-васкулярных заболеваниях, в том числе дисциркуляторной энцефалопатии, улучшает адаптацию организма к гипоксии, церебральной ишемии, наркозу и при других повреждающих воздействиях [11].

Целью исследования явилась оценка влияния официального препарата Семакс (капли назальные 0,1 %) на поведенческие реакции и силу скелетной мускулатуры мышей, облученных протонами с энергией 170 МэВ в дозах 2,28 и 2,85 Гр.

В доступной литературе, кроме нашего предыдущего краткого сообщения [12], сведений о подобных исследованиях мы не обнаружили.

Методика

Исследования проводили на аутбредных половозрелых самках мышей ICR (CD-1), SPF категории, массой тела 21–29 грамм, в возрасте 7–8 нед. В ходе всего эксперимента животные содержались в стандартных лабораторных условиях и имели свободный доступ к воде и корму.

Животные были подвергнуты облучению ускоренными протонами на медицинском пучке фазотрона Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ). Мышей помещали в индивидуальные контейнеры, затем группировали по 4 контейнера и размещали на пути протонного пучка. Сечение протонного пучка составляло

9 × 9 см, что позволяло одновременно облучать по 4 животных. Направление пучка краниокаудальное. Облучение животных проводили в пике Брэгга при толщине дополнительного замедлителя, равной 190 мм. Использование дополнительного замедлителя позволяло снизить энергию протонов со 170 до 70 МэВ, при этом пик Брэгга приходился на центр тела мыши. Энергия частиц в кабине была определена по пробегу пучка в воде ($R = 200$ мм воды). Измерения проводили полупроводниковым кремниевым детектором. Среднее значение ЛПЭ на входе пучка составляло 0,49 кэВ/мкм. Дозиметрическая калибровка пучка в каждой точке глубинного дозового распределения проводилась ионизационной камерой ТМ30013 клинического дозиметра РТW UNIDOS-E. Мощность дозы на входе пучка составляла 0,62 Гр/мин, мощность дозы в точке облучения (90 % от уровня дозы в пике Брэгга) составляла 1,42 Гр/мин. Отношение дозы в точке облучения к дозе на входе составляло 2,28. На входе пучка объекты облучали в дозах, равных 1,0 и 1,25 Гр, что составляло 2,28 и 2,85 Гр в тканях облучаемых животных. Для контроля облучения за контейнерами с животными размещалась радиохромная пленка. Контрольная группа ложно-облученных животных, также помещалась и содержалась в контейнерах.

После облучения животных распределяли на 2 рандомизированные по массе группы, одна из которых (основная), получала препарат Семакс 0,1 % (по 1 капле интраназально, начиная со 2-го часа после облучения) трижды в сутки: утром, днем и вечером в течение 7 сут. Второй группе облученных животных вводили кипяченую охлажденную воду по аналогичной схеме.

Влияние облучения протонами на поведенческие реакции животных, не получавших препарат Семакс и получавших его по указанной схеме, оценивали на 7-е сутки после облучения. Оценка проводилась по уровню локомоторной активности в тестовой установке «открытое поле» (ОП) [13, 14] с круговой серой ареной диаметром 63 см. В течение 3 мин учитывали акты пересечения секторов, проходы через центр, подъем, норковый рефлекс. Сумма этих актов составила показатель ориентировочно-исследовательской реакции (ОИР), а акты: груминг, замирание и движение на месте – показатель эмоционального статуса (ЭС). Силу скелетной мускулатуры мышей оценивали по показателю силы захвата (в граммах) передних лап животного на электронном динамометре.

Для статистической обработки подсчета средней арифметической и ошибки средней использовали программный комплекс Origin Pro 2015, достоверность рассчитывали с помощью критерия Манна – Уитни. Результаты принимали статистически достоверными при $p \leq 0,05$.

Таблица

**Показатели неврологического статуса мышей самок ICR (CD-1) на 7-е сутки
после протонного облучения с энергией 170 МэВ**

Доза облучения, Гр	№	Группа	Число животных (n)	Показатели: число реакций за 3 мин (М ± m)				
				ОИР	ЭС	ОИР/ЭС	Число выходов в центр ОП	Груминг
2,28	1	Необлученный контроль	8	143 ± 4,2	3 ± 0,4 ²	52,5 ± 5,1	4,3 ± 0,7 ²	0,9 ± 0,2 ²
	2	Облученный контроль, без введения препарата	7	156,5 ± 7	1,6 ± 0,2	101,0 ± 11,8 ⁴	2,1 ± 0,9	0,3 ± 0,2
	3	Облученные, с введением Семакса	7	149,1 ± 7,5	4,4 ± 0,5	39,0 ± 6,0 ²	3,6 ± 0,7	0,8 ± 0,2
2,85	4	Необлученный контроль	10	127,2 ± 5 ¹	7,2 ± 0,4 ³	18,1 ± 1,3	4,3 ± 0,6 ^{1,3}	0,8 ± 0,1 ³
	5	Облученный контроль, без введения препарата	10	141,5 ± 7	4,7 ± 0,2	30,8 ± 2,7 ⁵	2,1 ± 0,9 ³	0,8 ± 0,1 ³
	6	Облученные, с введением Семакса	10	136,3 ± 8	8,9 ± 1,6	20,9 ± 1,4	6,6 ± 0,7	1,3 ± 0,2

Примечание. Статистически значимые различия с группой: 1 – № 5; 2 – № 2; 3 – № 6; 4 – № 1 и 3; 5 – № 4 и 6 (p < 0,05).

Все эксперименты проводились в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (приказ МЗ СССР № 755 от 12.08.1977 г.) и «Международными рекомендациями по проведению биомедицинских исследований с использованием животных» Советом международных медицинских научных организаций (CIOMS), Женева, 1995 г.

Результаты и обсуждение

В таблице представлены данные о поведенческой исследовательской реакции животных на 7-е сутки после облучения протонами. При облучении в дозе 2,28 Гр показатель груминга и число выходов в центр ОП у облученных животных без использования препарата за 3 мин наблюдения составили в среднем 0,3 ± 0,2 и 2,1 ± 0,7 акта соответственно. Эти показатели статистически значимо ниже (по критерию Манна – Уитни, p < 0,05) чем в группе необлученных контрольных животных (0,9 ± 0,2 и 4,3 ± 0,7 акта соответственно). В то же время в группе облученных животных с использованием Семакса, величины показателей возрастали до значений 0,8 ± 0,2 и 3,6 ± 0,7 акта соответственно и статистически не отличались от величины, выявленной в группе необлученных контрольных животных.

Суммарный показатель ЭС составил в необлученной контрольной группе 3,0 ± 0,4 акта. Эта величина у животных, облученных в дозе 2,28 Гр без

введения препарата, была равна 1,6 ± 0,2 акта, а у облученных особей при введении Семакса достигала 4,4 ± 0,5 акта. Различия между контрольной и основной группами облученных животных были статистически значимы (p < 0,05).

Показатель ОИР составил в группе облученных животных в дозе 2,85 Гр без Семакса 141,5 ± 7 актов, а в группе облученных с введением Семакса 136,3 ± 14,2 акта. В группе необлученных контрольных животных этот показатель был равен 127,2 ± 5 актов. Статистически значимые различия отмечали между основной и контрольной группами облученных животных (p < 0,05).

Показатель ЭС в группе животных, облученных в дозе 2,85 Гр без препарата, составил 4,7 ± 0,2 акта, а в группе облученных с введением Семакса – 8,9 ± 1,6 акта. В группе необлученных контрольных животных зарегистрировали 7,2 ± 0,4 акта, при этом статистически значимые различия отмечали для группы без введения препарата и контрольной группами облученных животных (p < 0,05).

Влияние облучения и препарата Семакс на силу скелетной мускулатуры у мышей представлено на рисунке. Сила скелетной мускулатуры на 8-е сутки после облучения в дозе 2,28 Гр составила у облученных животных 70,3 ± 2,6 г, а в группе облученных с введением Семакса имело место сохранение показателя до уровня 87,9 ± 3,6 г. В группе необлученных контрольных животных эта величина достигала 94,4 ± 4 г. При этом были отмечены статистически

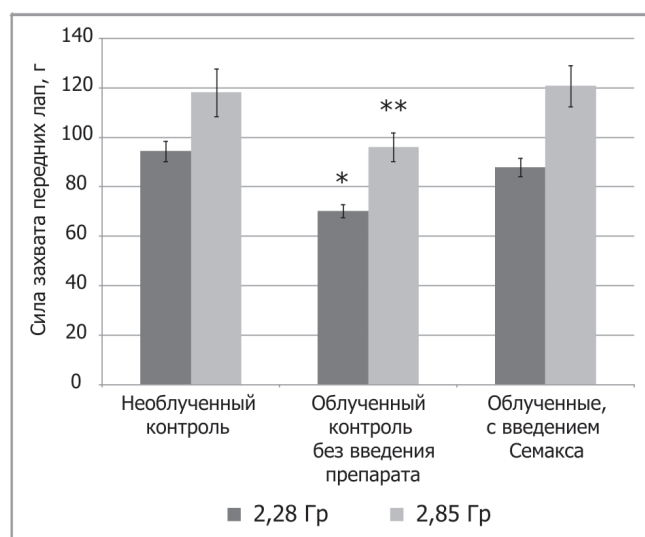


Рисунок. Влияние препарата Семакс на силу захвата передних лап мышей на 8-е сутки после облучения протоны ($M \pm m$, г).

* – статистически значимые различия с группами «Облученные с введением Семакса» и «Необлученный контроль» ($p < 0,05$); ** – статистически значимые различия с группами «Облученные с введением Семакса» и «Необлученный контроль» ($p < 0,05$)

значимые различия между группами необлученного контроля и контрольных облученных животных ($p < 0,05$), тогда как показатели необлученного контроля и облученных животных с введением Семакса статистически значимо не различались.

Сила скелетной мускулатуры на 8-е сутки после облучения в дозе 2,85 Гр составила у облученных животных $96,1 \pm 5,7$ г, в группе облученных животных с введением препарата выявили сохранение показателя до уровня $120,7 \pm 8,3$ г, в группе необлученного контроля – $118,2 \pm 9,6$ г. При этом были отмечены статистически значимые различия между основной и контрольной группами облученных животных ($p < 0,05$).

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о положительном влиянии нейропептида Семакс на показатели поведенческой исследовательской реакции и силу скелетной мускулатуры у мышей при действии протонов высоких энергий. Следует заметить, что экспериментальных исследований о влиянии использованного препарата на неврологический статус животных при действии ионизирующей радиации мы не встретили. Однако на позитивное влияние препарата при радиационном воздействии указывают данные клинических исследований. Эти результаты свидетельствуют о положительном эффекте данного нейропептида при разных сценариях лучевого воздействия на организм. Использование Семакса в составе

комплексной терапии пожилых пациентов, имевших в отдаленном анамнезе (нескольких лет) контакт с ионизирующим излучением, вызывало благоприятный нейрофизиологический эффект. На фоне проведения комплексной терапии и приема Семакса у лиц спустя 7 лет после участия в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС отмечали исчезновение вялости, снижение психической и физической утомляемости, улучшение настроения, внимания, памяти, умственной работоспособности [11]. Положительное действие Семакса на гемодинамику головного мозга, работу сердца, умственную работоспособность и другие показатели психофизиологического статуса было отмечено при реабилитации ветеранов подразделений особого риска через 20–40 лет после участия в ликвидации радиационных аварий [7]. В составе комплексной терапии Семакс оказал позитивный эффект в отношении психического здоровья представителей населения через 35 лет после облучения на реке Теча и восточно-уральском радиоактивном следе [15]. Семакс в составе различных фармакологических композиций повышал устойчивость к гипоксии, обладал нейропротекторной и антиамнестической активностью и повышал физическую работоспособность экспериментальных животных при однократном внутрибрюшинном введении [16].

Эти обстоятельства и наши данные дают основание для дальнейшего изучения влияния данного препарата на поведенческие и когнитивные реакции животных при действии более тяжелых заряженных частиц, например ионов углерода. Наряду с этим, можно считать перспективными исследования других фармакохимических средств для купирования негативного влияния ускоренных тяжелых ионов на структуры и функции центральной нервной системы. Необходимость такого рода исследований обусловлена важными практическими задачами, стоящими перед космической радиобиологией, радиационной медициной, и такие работы планируются нами в дальнейшем.

Выводы

Нейропептид Семакс оказывает благоприятное влияние на реализацию высших интегративных функций ЦНС и силу скелетной мускулатуры у грызунов при действии ускоренных заряженных частиц – протонов высоких энергий.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-29-01028.

Список литературы

1. Мартиросов К.С., Зорин В.В. Средства профилактики и лечения диспептических проявлений первичной

реакции на облучение // Радиационная медицина: В 4 т. Т. 1. Теоретические основы радиационной медицины. М., 2004. С. 761–787.

Martirosov K.S., Zorin V.V. Means of preventing and treating of dyspeptic manifestations of the primary reaction to radiation // Radiation medicine: In 4 vol. V. 1. Theoretical foundations of radiation medicine. Moscow, 2004. P. 761–787.

2. Бушманов А.Ю., Торубаров Ф.С. Неврологические аспекты радиационных поражений // Радиационная медицина: В 4 т. Т. 2. Радиационные поражения человека. М., 2001. С. 275–305.

Bushmanov A.Yu., Torubarov F.S. Neurological aspects of radiation damage // Radiation medicine: In 4 v. V. 2. Radiation damage of man. Moscow, 2001. P. 275–305.

3. Котеров А.Н. Малые дозы ионизирующей радиации: подходы к определению диапазона и основные радиобиологические эффекты // Радиационная медицина: В 4 т. Т. 1. Теоретические основы радиационной медицины. М., 2004. С. 871–925.

Kotero A.N. Low doses of ionizing radiation: approaches to the definition range and basic radiobiological effects // Radiation medicine. In 4 vol. V. 1. Theoretical foundations of radiation medicine. Moscow, 2004. P. 871–925.

4. Григорьев А.И., Красавин Е.А., Островский М.А. К вопросу о радиационном барьере при пилотируемых межпланетных полетах // Вестник РАН. 2017. Т. 87. № 1. С. 65–69.

Grigor'ev A.I., Krasavin E.A., Ostrovsky M.A. The problem of the radiation barrier during piloted interplanetary flights // Vestnik RAN. 2017. V. 87. № 1. P. 65–69.

5. Rabin B.M., Joseph J.A., Shukitt-Hale B. Heavy particle irradiation, neurochemistry and behavior: threshold, dose-response curves and recovery function // Adv. Space Res. 2004. № 33. P. 1330–1333

6. Britten R.A., Davis L.K., Johnson A.M. et al. Low (2 cGy) doses of 1 GeV/u 56Fe-particle radiation loads to a persistent reduction in the spatial learning ability of rats // Radiat. Res. 2012. № 177. P. 146–151.

7. Parihar V.K., Allen B., Tran K.K. et al. What happens to your brain on the way to Mars // Sci. Adv. 1 May 2015. V. 1. № 4. e1400256.

8. Штемберг А.С., Базян А.С., Лебедева-Георгиевская К.Б. и др. Влияние облучения протонами высокой энергии на поведение крыс: нейрохимические механизмы // Авиакосм. и экол. мед. 2013. Т. 47. № 6. С. 54–60.

Shtemberg A.S., Bazyan A.S., Lebedeva-Georgievskaya K.B. et al. Effects of exposure to high-energy protons on rat's behavior and underlying neurochemical mechanisms // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2013. V. 47. № 6. P. 54–60.

9. Беляева А.Г., Штемберг А.С., Носовский А.М. и др. Воздействие высокоэнергетических протонов и ионов углерода ^{12}C на когнитивные функции обезьян и содержание моноаминов и их метаболитов в периферической крови // Нейрохимия. 2017. Т. 34. № 1. С. 1–9.

Belyaeva A.G. Shtemberg A.S., Nosovsky A.M. et al. The effect of high-energy protons and carbon ions ^{12}C on cognitive

functions of monkeys and the content of monoamines and their metabolites in the peripheral blood // Neyrokhimiya. 2017. V. 34. № 1. P. 1–9.

10. Регистр лекарственных средств России 2000–2016. Семакс, раствор 0,1 %. Инструкция по применению, противопоказания и состав.

The Register of Russian medicinal products 2000–2016. Semaks 0.1 % solution. Instruction for use, contraindications, and composition.

11. Андреева Л.А., Ашмарин И.П. Ноотропное средство и фармацевтическая композиция ноотропного действия. Патент на изобретение RU № 2045958, опубликовано: 20.10.1995.

Andreeva L.A., Ashmarin I.P. Nootropic agent and a pharmaceutical composition of nootropic action. The patent for the invention RU № 2045958, published on 20.10.1995.

12. Ляхова К.Н., Иванов А.А., Молоканов А.Г. и др. Влияние нейропептида Семакс на жизненный статус мышей, облученных протонами // Сборник тез. Междунар. науч.-практ. форума «Ядерные технологии на страже здоровья». М., 2016.

Lyakhova K.N., Ivanov A.A., Molokanov A.G. et al. Effects of exposure to protons and neuropeptid Semaks on the mice // Proc. of the International scientific and practical forum «An atomics on guards of health». Moscow, 2016.

13. Буреш Я., Бурешова О., Хьюстон Дж.П. Методики и основные эксперименты по изучению мозга и поведения. М., 1992.

Buresh Ya., Bureshova O., Houston G.P. Methods and basic experiments on the research of the brain and behavior. Moscow, 1992.

14. Магкоева Ф.З., Бескова Т.Б., Лильп И.Г. и др. Влияние мутантных аллелей на поведение мышей в тесте открытого поля // Биомедицина. 2007. № 6. С. 136–142.

Magkoeva F.Z., Beskova T.B., Lil'p I.G. et al. Effect of mutant alleles on the behavior of mice in an open field test // Biomeditsina. 2007. № 6. P. 136–142.

15. Пучкова Е.И., Алишев Н.В. Исследование лечебных свойств препарата Семакс при реабилитации ветеранов подразделений особого риска // Успехи геронтологии. 2012. Т. 25. № 3. С. 525–530.

Puchkova E.I., Alishev N.V. Research of medicinal properties Semaks drug in veterans' rehabilitation units of special risk // Uspekhi gerontologii. 2012. V. 25. № 3. P. 525–530.

16. Бухарин В.А., Цветков С.А., Таймазов А.В., Готовцев И.И. Повышение уровня умственной и физической работоспособности единоборцев путем коррелирования методик коррекции // Ученые записки Университета им. П.Ф. Лесгафта. 2(84) 2014. 29 февраля 2012 г. С. 154–159.

17. Buharin V.A., Tsvetkov S.A., Taimazov A.V., Gotovtsev I.I. Improving mental and physical health of the fighters by harmonization of methods of correction // Uchenye zapiski Universiteta im. P.F. Lesgafta. 2(84) 2014. 29 February 2012. P. 154–159.

Поступила 01.12.2017

EFFECT OF NEUROPEPTIDE SEMAX ON THE EXPLORATORY BEHAVIOR REACTION AND STRENGTH OF SKELETAL MUSCULATURE OF PROTON-IRRADIATED MICE

Lyakhova K.N., Ivanov A.A., Molokanov A.G., Severyukhin Yu.S., Utina D.M., Krasavin E.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 4. P. 71–76

Effects of neuropeptide Semax on behavior reactions and skeletal muscles strength were studied in mice irradiated by protons. Experiments were performed with outbred ICR (CD-1) females, SPF-category. The animals were exposed in

the Bragg peak to protons with initial energy 170 MeV and thickness of additional moderator = 190 mm. The entry dose was equal to 1 and 1.25 Gy corresponding to the tissue doses of 2.28 and 2.85 Gy respectively.

Intranasal Semax proved to be favorable to recovery of the exploratory behavior reaction (EBR) on day 7 after 7-d repeated irradiation. Semax brings to the norm the emotional status (ES) on post-irradiation day 7 and has a positive effect on the EBR/ES ratio. It was shown that radiation affects strength of the mice skeletal muscles but then Semax recovers this parameter to values prevailing in the control group.

Key words: Semax, protons, mice, open field, neurologic status, emotional status, exploratory behavior reaction, skeletal musculature strength.

Редколлегия журнала сердечно поздравляет
с юбилейными датами сотрудников ИМБП:

Агуреева Александра Никитовича

Баевского Романа Марковича

Бакушину Валентину Ивановну

Бычкова Леонида Ивановича

Каминскую Екатерину Витальевну

Кривошеину Ольгу Константиновну

Панфиленко Надежду Дмитриевну

Сафронову Светлану Сергеевну

Стругова Олега Михайловича

Тюрина-Кузьмина Алексея Юрьевича

Эктова Николая Григорьевича

Добрые вам пожелания и плодотворной работы!

