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.м.н., профессор
Дьяченко А.И., д.т.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.
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 АНРК (Казахстан)
Gerzer R., M.D., Ph.D., professor (Germany)
Gharib C., Ph.D., professor (France)
Yinghui Li, M.D., Ph.D., professor (China)

2017 Т. 51 № 1

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 1967 ГОДУ
С 1967 по 1974 г. назывался «Космическая биология и медицина»,
с 1974 по 1991 г. – «Космическая биология и авиакосмическая медицина»,
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, 2017
© State Research Center RF – Institute of Biomedical Problems Russian Academy of Sciences, 2017

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

**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: тел.: 8 (499) 195-65-12, эл. почта: arhiv@imbp.ru

Сдано в набор 06.02.2017.
Подписано в печать ....02.2017.
Формат 60 × 84 1/8.
Гарнитура Tahoma.
Печать офсетная.
Усл. печ. л. ....
Тираж 220 экз.
Заказ № ....

Отпечатано в типографии ООО ИПЦ «Научная книга».
Адрес: 394030, г. Воронеж, Московский пр-т, д. 11б.

Содержание

Contents

Обзоры

Reviews

Галичий В.А. Сезонный фактор в проявлениях сердечно-сосудистой патологии **5**

Galichiy V.A. Seasonal factor in manifestations of cardiovascular pathologies

Экспериментальные и общетеоретические исследования

Experimental and Theoretical Investigations

Кукоба Т.Б., Фомина Е.В. Аксиальное нагружение различной интенсивности при резистивной тренировке космонавтов как метод профилактики гипогравитационных нарушений **16**

Kukoba T.B., Fomina E.V. Axial loading of varying intensity during resistance training of cosmonauts as a countermeasure against hypogravitational disorders

Степанова С.И., Карпова О.И., Галичий В.А., Нестеров В.Ф., Сараев И.Ф. Оценка операционной занятости российских членов экипажей Международной космической станции (экспедиции 26/27–39/40) **22**

Stepanova S.I., Karpova O.I., Galichiy V.A., Nesterov V.F., Saraev I.F. Evaluation of operative employment of Russian crewmembers of the International space station (missions 26/27–39/40)

Солдатов С.К., Засядько К.И., Богомолов А.В., Вонаршенко А.П., Соломка А.В. Профессионально важные качества операторов управления воздушным движением **28**

Soldatov S.K., Zasyad'ko K.I., Bogomolov A.V., Vonarshenko A.P., Solomka A.V. Professionally important skills of air traffic controllers

Воронцов А.Л., Степанова Г.П., Маркин А.А., Смирнова Т.А., Дегтеренкова Н.В., Степанова К.Ю., Погожев А.А. Исследование воздействия 12-часовой антиортостатической гипокинезии на белковый состав мочи человека **33**

Vorontsov A.L., Stepanova G.P., Markin A.A., Smirnova T.A., Degterenkova N.V., Stepanova K.Yu. Investigation of the effect of 12-hour bed rest on protein content of human urine

Лебедева-Георгиевская К.Б., Матвеева М.И., Базян А.С., Кудрин В.С., Наркевич В.Б., Перевезенцев А.А., Штемберг А.С. Влияние антиортостатического вывешивания на активность, адаптацию к новой среде, исследовательское поведение и обмен моноаминов в мозге мышей **37**

Lebedeva-Georgievskaya K.B., Matveeva M.I., Bazian A.S., Kudrin V.S., Narkevich V.B., Perevezentsev A.A., Shtemberg A.S. Effect of tail-suspension on the activity, environmental adaptation, exploratory behavior and monoamine turnover in the brain of mice

Северюхин Ю.С., Буденная Н.Н., Тимошенко Г.Н., Иванов А.А., Красавин Е.А. Морфологические изменения клеток Пуркинье коры мозжечка крыс после облучения ионами углерода ^{12}C **44**

Severiukhin Yu.S., Budennaya N.N., Timoshenko G.N., Ivanov A.A., Krasavin E.A. Morphological changes in Purkinje cells of rat's cerebellum cortex following irradiation with carbon ^{12}C ions

Тихомирова Н.А., Павлова А.М., Ушакова С.А., Трифонов С.В., Грибовская И.В., Тихомиров А.А. Продукционные характеристики зеленных растений при выращивании на жидких продуктах переработки экзометаболитов человека применительно к биолого-технической системе жизнеобеспечения **49**

Tikhomirova N.A., Pavlova A.M., Ushakova S.A., Trifonov S.V., Gribovskaya I.V., Tikhomirova A.A. Yield characteristics of green plants cultivated on liquid products of human exometabolite processing for a bio-technical life support system

Пахомова А.А., Озеров Д.С., Царьков Д.С., Хорошева Е.Г., Мухамедиева Л.Н. Мониторинг, особенности формирования и гигиеническая характеристика состава химических веществ в воздушной среде Международной космической станции **56**

Pakhomova A.A., Ozerov D.S., Tsarkov D.S., Khorosheva E.G., Mukhamedieva L.N. Description of the chemical make-up of air on the International space station

Информация

Information

Благинин А.А., Синельников С.Н., Ляшедько С.П. Современное состояние и проблемы тренировки пространственной ориентировки летчиков **63**

Blaguinin A.A., Sinelnikov S.N., Liashedko S.P. State-of-the-art and problems of spatial orientation training of pilots

Иванов И.В., Праскурничий Е.А. Образовательные интернет-ресурсы для подготовки врачей по авиационной и космической медицине **68**

Ivanov I.V., Praskurnichiy E.A. Internet resources for education of specialists in aviation and space medicine

Белаковский М.С. XVI Конференция по космической биологии и медицине с международным участием, школа молодых ученых (5–8 декабря 2016 года, Москва) **77**

К 50-летию журнала «Авиакосмическая и экологическая медицина»

On the occasion of 50 years of journal «Aerospace and Ecological Medicine»

Правила для авторов

Instructions for Authors

ОБЗОРЫ

УДК 613.1+616.1

СЕЗОННЫЙ ФАКТОР В ПРОЯВЛЕНИЯХ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ПАТОЛОГИИ

Галичий В.А.

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

E-mail: ssi@imbp.ru

В обзоре изложены современные представления о сезонных вариациях показателей, характеризующих заболеваемость и смертность от сердечно-сосудистой патологии. Показана связь этих показателей с метеорологическими факторами – температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением. В высоких и средних широтах опасность развития и обострения сердечно-сосудистых заболеваний большинством исследователей связывается с зимним периодом, отмеченным не только низкими температурами воздуха, но и неустойчивой погодой с резкими перепадами температуры, влажности и атмосферного давления. Уменьшению сердечно-сосудистых рисков в этих регионах способствуют комфортный тепловой режим помещений, ношение теплой одежды, использование разогретой пищи, полноценное, сбалансированное, но не избыточное питание, хорошая физическая подготовка, отсутствие других заболеваний, прежде всего диабета. На протяжении всего года рекомендуется поддерживать здоровый образ жизни и контролировать артериальное давление, уровень холестерина и сахара крови.

Ключевые слова: ишемическая болезнь сердца, инфаркт миокарда, гипертоническая болезнь, цереброваскулярные расстройства, заболеваемость, смертность, метеорологические факторы.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 1. С. 5–15.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-5-15

Интерес к проблеме сезонности сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) в настоящее время исключительно велик. Это нетрудно понять, учитывая, что сердечно-сосудистая патология занимает одно из ведущих мест в структуре общей заболеваемости населения планеты. Сердечно-сосудистые заболевания являются основной причиной смерти во всем мире и охватывают все страны и континенты: ни по какой другой причине ежегодно не умирает столько людей, сколько от ССЗ. По оценкам Всемирной организации здравоохранения [1] в 2012 г. от ССЗ умерло 17,5 млн человек, что составило 31 % всех случаев смерти в мире. Из этого числа 7,4 млн человек умерли от ишемической болезни сердца и 6,7 млн человек в результате инсульта. По данным Е.З. Голуховой [2], в России с 2000 г. ежегодно от ССЗ умирает 2,3 млн человек. В пересчете на 100 тыс. населения это в 2 раза больше, чем в Европе и США, и в 1,5 раза больше, чем в среднем по миру. Особую тревогу вызывают показатели смертности мужчин трудоспособного возраста, которые в 7 раз превышают таковые в развитых европейских государствах. По оценкам специалистов смертность в России в последние годы характеризуется как «сверхсмертность мужчин трудоспособного возраста».

В числе основных факторов риска болезней сердца, как правило, упоминаются неправильное (в частности, избыточное) питание, ограниченная мышечная деятельность, курение табака и злоупотребление алкоголем. Есть все основания включить сюда и сезонный фактор. На протяжении 4–5 последних десятилетий специалистами разных стран в русле проблемы сезонности ССЗ выполнено большое количество исследований, охватывающих множество географических регионов, неоднородных по климатическим особенностям и уровню материального и культурного благосостояния жизни населения. Исключительное разнообразие полученных данных чрезвычайно затрудняет их систематизацию. Мы попытались сгруппировать материал по нозологическим формам. Но для нас это не было главным. Основная задача работы состояла в том, чтобы продемонстрировать глобальный характер феномена сезонности ССЗ, показать, что проблема действительно существует, и привлечь к ней внимание читателей.

Прежде чем рассматривать фактический материал, следует специально подчеркнуть, что связь сердечно-сосудистой патологии с годовыми климатическими циклами обусловлена не только внешними влияниями, но и эндогенными, т.е. имеющими внутреннюю природу, генетически запрограммированными сезонными колебаниями состояния организма.

Патология коронарного кровообращения

Анализируя данные литературы, А.П. Голиков, П.П. Голиков [3] сообщают о более частом

возникновении инфаркта миокарда в зимний период года. Нарушение коронарного кровообращения в Заполярье и Приполярье отмечено преимущественно в осенне-зимнее время (январь, февраль, ноябрь), а в средних широтах – в летний и осенне-зимний периоды (июль, ноябрь, декабрь).

Исследования А.А. Парыгина и соавт. [4], проведенные в г. Архангельске, показали, что приступы аритмий у больных ишемической болезнью сердца (ИБС) чаще всего приходились на зимний и весенний сезоны года, а реже всего – на летний период. Анализ зависимости пароксизмов мерцательной аритмии от геомагнитной активности показал, что наиболее высокая среднесуточная частота их наблюдалась за 2 сут до магнитной бури, а также на 2-е и особенно на 4-е сутки от ее начала.

Как сообщают В.И. Тонконоженко, С.И. Харлампович [5], наибольшее количество обращений в службу «скорой помощи» по поводу ИБС в Московской области (г. Кашира и г. Ступино) в 1975–1977 гг. отмечалось в январе и мае каждого года, максимальное число госпитализаций по тому же поводу – в декабре и январе. Максимальный уровень летальности при ИБС зарегистрирован в январе, мае и августе.

Установлено [6], что у жителей Урала, больных ИБС, сердечно-сосудистая система функционирует в наиболее напряженном режиме в зимний период года. И, видимо, не случайно в этом регионе (г. Екатеринбург) число инфарктов миокарда зимой оказывается выше, чем в другое время года [7].

По данным Б.Х. Ахметовой и соавт. [8], в регионе г. Уфы у рабочих одного из промышленных предприятий обострения ИБС наиболее часто наблюдались зимой и летом. Сезонная профилактика позволила снизить число приступов стенокардии и уменьшить частоту других проявлений этого заболевания.

Как сообщают О.К. Рыбак и соавт. [9], для климатической зоны Среднего Поволжья сезоном повышенного риска развития инфаркта миокарда является зима, чему сопутствуют увеличение агрегации тромбоцитов, ухудшение реологических свойств крови и угнетение фибринолиза. Сезоном пониженного риска является весна. По другим данным [10], в Среднем Поволжье «неблагоприятным» сезоном в отношении частоты проявлений острого коронарного синдрома является зима, сравнительно «благоприятным» – лето. Осложненное течение заболевания в этой климатической зоне чаще встречается в осенне-зимний период и достоверно ($p < 0,01$) реже – в летнее время.

Согласно источникам литературы, на которые ссылаются О.Л. Барбараш и соавт. [11], в январе вдвое по сравнению с июлем растут количество инфарктов миокарда, активность симпатической нервной системы, а также количество тромбоцитов в крови и концентрация в ней фибриногена.

Изучению роли сезонного фактора в развитии нарушений коронарного обращения посвящены исследования многих зарубежных авторов.

S. Sarna et al. [12] в течение года изучали связь острых инфарктов миокарда с метеорологическими факторами в г. Хельсинки. Были обнаружены сезонные вариации с минимальным числом случаев летом и максимальным – поздней осенью. Не отмечено статистически существенных корреляций температуры воздуха со всеми случаями инфаркта миокарда, но число смертных случаев повышалось в самые холодные дни. Атмосферное давление показало самую высокую корреляцию с возникновением инфаркта миокарда. Быстрое падение атмосферного давления было также связано с увеличением числа случаев острого инфаркта миокарда. Авторы определяли также типы погоды, сопряженные с максимальным и минимальным риском появления приступов. Выяснилось, что самой неблагоприятной является сравнительно холодная и влажная погода с низким атмосферным давлением, наблюдаемая в Хельсинки поздней осенью и ранней зимой. Наиболее благоприятной является теплая, сухая и стабильно солнечная погода; в этих условиях число случаев инфаркта миокарда было в 3 раза меньше, чем в наименее благоприятный сезон года.

Анализ материалов службы «скорой помощи» г. Хиросимы в период с 1993 по 2002 г. [13] показал, что температура воздуха заметно влияла на число случаев острого инфаркта миокарда: ежедневно регистрируемое число случаев уменьшалось с повышением температуры. Максимальное число ежедневно регистрируемых случаев наблюдалось в условиях сочетания низкой температуры и низкого давления, причем это всегда сопровождалось дождем и/или снегом (что характерно для зимнего периода). Наименьшее число ежедневно регистрируемых случаев инфаркта совпадало с высокой температурой воздуха в сочетании с низким атмосферным давлением.

C.P. Thakur et al. [14] не обнаружили сезонных колебаний частоты случаев инфаркта миокарда, зарегистрированных в период с 1979 по 1983 г. в больнице г. Панта (Северная Индия). Однако число случаев этого заболевания увеличивалось, когда минимальная температура воздуха падала до 16 °C и ниже.

Группа итальянских авторов [15] обнаружила сезонную периодичность числа госпитализаций по поводу сердечной недостаточности с пиком в зимние месяцы. В провинции Эмилия-Романья (Северная Италия) частота госпитализаций по поводу острого инфаркта миокарда увеличивается зимой (с максимумом в январе) и уменьшается летом (с минимумом в июле) [16].

По данным A. Auliciems и D.Frost [17], смертность от инфаркта миокарда в Монреале увеличивалась

на следующий день после снегопада, а во время аномально холодной погоды число смертных случаев уменьшалось.

Большой интерес представляют результаты исследования, выполненного A.S. Douglas et al. [18]. Авторы провели ретроспективный анализ сезонных вариаций частоты случаев ИБС в Шотландии на протяжении 10-летнего периода (1962–1971 гг.). Использовали данные 220 тыс. пациентов. Как показали результаты этого анализа, для мужчин моложе 45 лет были характерны весенний пик и осенний спад заболеваемости. В более старших возрастных группах мужчин наблюдались 2 пика – зимний и весенний, причем с повышением возраста весенний пик снижался, а зимний повышался. У женщин пики заболеваемости отмечались преимущественно зимой и летом. Максимум смертных случаев как у мужчин, так и у женщин приходился на зимний период, а минимум – на летнее время.

Аналогичное исследование было выполнено в Кувейте [19]. При сравнении полученных результатов с приведенными выше данными о сезонности ИБС в Шотландии оказалось, что зимние пики смертности отмечались в обоих регионах, причем для жителей Шотландии зимний климат был наименее, а для жителей Кувейта – наиболее комфортным. Авторы полагают, что причиной зимних подъемов смертности являются не сами по себе низкие температуры, но сезонные падения температуры относительно среднегодового значения.

Обобщая данные научных публикаций в этой области, специалисты из Шотландии J.P. Pell, S.M. Kobbe [20] утверждают, что ИБС демонстрирует зимний максимум и летний спад заболеваемости и смертности в странах, расположенных к северу и к югу от экватора. Такая сезонность может быть связана с внешними и внутренними факторами риска, в частности, с окружающей температурой, ультрафиолетовым (УФ) излучением, особенностями образа жизни (питанием, физической активностью, курением), уровнем артериального давления (АД), содержанием холестерина в сыворотке крови, гемокоагуляцией, толерантностью к глюкозе, острыми и хроническими инфекциями.

Влияние температурного фактора подтверждается следующими аргументами:

– наличием положительной связи смертности от ИБС с расстоянием от экватора;

– сильной отрицательной корреляцией смертности от ИБС и среднемесячной температуры воздуха;

– случаями возникновения приступа стенокардии в холодную погоду.

Низкая температура окружающей среды может косвенно влиять на сердце посредством изменения АД. Охлаждение вызывает повышение как систолического, так и диастолического АД. Это приводит к увеличению потребности сердца в кислороде. У пациентов с нарушенным коронарным кровообращением такое увеличение кислородного запроса может вызвать ишемию миокарда и как следствие приступ стенокардии или инфаркт миокарда. В Великобритании зимняя величина АД превышает летний показатель примерно на 5 мм Hg. Следствием такого превышения является увеличение частоты случаев ИБС на 21 %.

Вместе с тем нужно учитывать скорость падения температуры воздуха и длительность периода холодной погоды. Кроме низких температур, влияние на смертность от ИБС оказывают и очень высокие температуры, что было установлено в некоторых исследованиях.

Как отмечают авторы, в ряде публикаций говорится о том, что смертность от ИБС теснее связана со степенью отклонения температуры воздуха от среднего уровня, нежели с ее абсолютными значениями. По мнению некоторых исследователей, температура окружающей среды вносит двойственный вклад в смертность от ИБС. Экстремально низкие или экстремально высокие температуры, отличающиеся от сезонных норм, приводят к быстрому (в течение 1–4 сут) подъему смертности от ИБС. В то же время устойчивое падение температуры, характерное для зимнего периода, сопровождается общим подъемом смертности от ИБС на протяжении всей зимы.

Учитывая сказанное, J.P. Pell, S.M. Kobbe [20] приходят к выводу, согласно которому температурный комфорт должен оказывать защитное действие. В Европе сезонные вариации смертности от ИБС минимальны в тех странах Скандинавии, где соблюдаются строгие строительные нормы и правила, обеспечивающие благоприятный тепловой режим помещений, а также в Исландии, имеющей доступ к обильным природным ресурсам тепловой энергии.

В рассматриваемой обзорной статье [20] обсуждается также связь ИБС с УФ-радиацией, необходимой для синтеза витамина D. У пациентов с ИБС было выявлено пониженное содержание в крови метаболитов витамина D. В этой связи предполагается, что воздействие солнечной радиации может защитить больных ИБС от острых коронарных событий. Возможно, это и происходит в летний период. Кроме того, установлено, что под влиянием солнечных лучей в крови снижается уровень холестерина, в соответствии с чем этот уровень повышается зимой и снижается летом, и это также может влиять на показатели смертности от ИБС.

Анализируя патогенетическую роль фактора гемокоагуляции, авторы отмечают, что падение внешней температуры сопровождается повышением содержания в крови тромбоцитов и фибриногена, увеличением вязкости крови при снижении

объема плазмы. Возможная связь между факторами свертывания и сезонными колебаниями заболеваемости и смертности от ИБС подтверждается наличием сезонных изменений частоты цереброваскулярных расстройств и венозной тромбоэмболии.

В настоящее время известно, что гипергликемия, гиперинсулинемия и нарушение толерантности к глюкозе (латентный сахарный диабет) являются независимыми факторами риска развития ССЗ. Как сообщают J.P. Pell, S.M. Kobbe [20], содержание в крови глюкозы и инсулина у здоровых людей повышается зимой и снижается летом. Не исключено, что этот эндогенный ритм облегчает развитие ИБС в зимнее время и способствует снижению заболеваемости и смертности от ИБС в летний сезон.

И наконец, в том, что касается инфекционных заболеваний, авторы обзора [20] не нашли убедительных доказательств их связи с ИБС. Есть предположение, что респираторные инфекции повышают риск развития артериальных тромбозов за счет увеличения фибриногена плазмы и появления эндотоксинов, подавляющих фибринолиз. Если это в самом деле так, то сезонные обострения респираторных заболеваний могут вносить свой вклад в формирование зимнего пика сердечно-сосудистых катастроф [21].

Гипертоническая болезнь

В монографии А.П. Голикова, П.П. Голикова [3] приводятся данные литературы о частоте обострений гипертонической болезни в разные сезоны года. В условиях г. Риги, в Забайкалье и в г. Ташкенте обострение гипертонической болезни чаще наблюдается в зимний сезон, а в г. Душанбе – весной и осенью. Собственные данные, полученные А.П. Голиковым, П.П. Голиковым [3] в процессе анализа медицинской документации в Ленинграде, Ярославле и в условиях Заполярья, позволили авторам прийти к выводу, что зимний период является самым неблагоприятным в отношении возникновения и обострения гипертонической болезни.

Отечественные исследователи Ш.З. Загидуллин и соавт. [22] изучали динамику числа обращений за медицинской помощью населения ряда городов Башкирии. Оказалось, что при гипертонической болезни (и бронхиальной астме) выявляются 2 пика обращаемости – в октябре и апреле – мае; наряду с этим обнаружены 2 спада обращаемости – в феврале и в июле – августе. По мнению авторов, на динамику частоты обращений в течение года оказывает влияние определенное сочетание комплекса факторов, и прежде всего абсолютной влажности и среднесуточной температуры воздуха, атмосферного давления, интенсивности нижней облачности, а также уровня производственной загрязненности атмосферы.

Нарушения мозгового кровообращения

Специалисты США выполнили ряд исследований, посвященных сезонным ритмам нарушений мозгового кровообращения.

В штате Миннесота (регионе, отмеченном выраженными сезонными вариациями дневной освещенности и температуры) максимальное число случаев острых внутричерепных кровоизлияний в рамках 6-летнего периода ежегодно регистрировалось в январе и феврале. Эта периодичность соответствовала данным о смертности от цереброваскулярной патологии (заболеваний мозговых сосудов) и ССЗ в США и других странах [23].

Число госпитализаций по поводу транзиторных ишемических атак (преходящих острых нарушений мозгового кровообращения) в Лихай Вэлли (Lehigh Valley), штат Пенсильвания, увеличивалось летом с пиком в июне – августе, а пик госпитализаций по поводу инфарктов мозга (без кровоизлияний) приходился на февраль – апрель. Была установлена статистически существенная положительная корреляция числа транзиторных ишемических атак с температурой воздуха [24].

J. Biller et al. [25] изучали связь между сезонными климатическими изменениями и количеством инсультов, зарегистрированных в период 1978–1985 гг. Работа выполнялась в Университете штата Айова. Инсульты классифицировались как инфаркты мозга, транзиторные (преходящие, кратковременные) ишемические атаки, субарахноидальные кровоизлияния (субарахноидальное пространство – полость между паутинной и мягкой мозговыми оболочками) и кровоизлияния в мозг. Транзиторные ишемические атаки и субарахноидальные кровоизлияния не обнаружили связи с сезонными климатическими переменными. Частота инфарктов мозга существенно увеличивалось в более теплые месяцы года. В то же время число кровоизлияний в мозг было существенно меньше в теплые дни и в дождливую погоду. По мнению авторов, для объяснения этого необходимы дополнительные исследования.

Аналогичные работы были выполнены в Италии.

Как сообщают P. Pasqualetti et al. [26], сезонный пик общего числа инсультов приходится на зимний период. M. Gallerani et al. [27] описали сезонный ритм числа инфарктов мозга с пиком в октябре.

В обзорной работе R. Manfredini et al. [28] приводится информация о сезонных вариациях числа острых нарушений мозгового кровообращения с подъемами зимой. Кроме того, установлено, что указанная периодичность отмечена особенностями, зависящими от пола и возраста, наличия заболеваний и вредных привычек (диабета, гипертонической болезни, курения, пристрастия к алкоголю), культурных, социальных и экологических факторов. В заключение авторы подчеркивают, что углубление

наших знаний о патофизиологических механизмах обнаруженных закономерностей обеспечивает более эффективное понимание превентивных стратегий и оптимизацию терапевтических подходов.

По данным исследователей из Финляндии [29], частота ишемических инсультов и кровоизлияний в мозг зимой была выше, чем летом. Частота субарахноидальных кровоизлияний не зависела от сезона года. Смертность от ишемического инсульта (в пределах 28 сут от момента госпитализации – так называемая 28-суточная смертность) обнаружила существенную зависимость от сезона только у женщин, с минимумом в летний период.

Изучая статистические данные о смертности от инсульта и респираторных заболеваний в США за период с 1938 по 1988 г., D.J. Lanska, R.G. Hoffmann [30] установили четко выраженную сезонную периодичность с увеличением числа смертных случаев в холодные зимние месяцы. Начальный подъем смертности как от инсульта, так и от заболеваний дыхательного аппарата совпадает по времени и приходится на осенние месяцы и ранний зимний период.

В работах японских авторов показано, что на севере Японии (в префектуре Акита, для которой характерно большое количество осадков: весной и осенью это дожди, зимой – снегопады) общее количество инсультов (кровоизлияний в мозг, инфарктов мозга и субарахноидальных кровоизлияний) увеличивается в зимний период, что статистически подтверждается только для кровоизлияний в мозг [31]. На юге Японии (на северном побережье острова Кюсю, расположенного в зоне субтропиков) отмечено статистически существенное снижение общего числа инсультов (включая кровоизлияния в мозг, инфаркты мозга, субарахноидальные кровоизлияния и недифференцированные типы инсульта) в августе – сентябре по сравнению с другими месяцами года. Кровоизлияния в мозг и инфаркты мозга, взятые раздельно, также показывают статистически значимую связь с сезонами года, однако в том и в другом случае сезонное распределение заболеваемости заметно различается [32].

В исследовании израильских специалистов [33] было установлено, что среднесуточная частота инсультов (без дифференциации по классификационным типам) была примерно в 2 раза больше в относительно теплые дни по сравнению с относительно холодными днями. Эта разница, по мнению авторов, может объясняться активацией тромбоэмболических механизмов в условиях повышенной температуры воздуха. Исследователи подчеркивают, что в случае предсказания жаркой погоды населению и службам здравоохранения необходимо давать информацию о повышенном риске инсультов для проведения профилактических мероприятий. В системе этих мероприятий специальное внимание следует уделить кондиционированию воздуха, адекватному потреблению жидкости и приему медикаментов, препятствующих агрегации тромбоцитов (т.е. препятствующих образованию тромбов), например, аспирина.

Среди всех рассмотренных работ нам встретилась только одна статья, принадлежащая специалистам из Шотландии (г. Эдинбург) [34], авторы которой не подтвердили зависимости частоты мозговых инсультов ни от времени года, ни от температуры воздуха.

ИБС, гипертоническая болезнь и цереброваскулярная патология

С.С. Барац (по [3]) указывает на увеличение числа экстренных вызовов «скорой помощи» к больным гипертонической болезнью или коронарной недостаточностью в зимний и весенний периоды года. Автор объясняет такое увеличение неустойчивостью метеорологических факторов зимой и весной. К сожалению, не сообщается, где именно получены эти данные, но, судя по месту работы автора, речь идет об Уральском регионе (г. Екатеринбург).

Роль фактора атмосферного давления в генезе сердечно-сосудистых расстройств подтверждается данными И.Г. Гранберга и соавт. [35]. Авторы обследовали 485 человек, страдавших ССЗ. С повышением циклонической активности на ЭКГ пациентов отмечались признаки ухудшения процессов реполяризации; наряду с этим, наблюдались изменения реологических свойств крови с тенденцией к гиперкоагуляции, а также более частые нарушения ритма. Типы погод, связанные с антициклонической активностью, сопровождавшейся повышенным геомагнитным фоном, оказывали неблагоприятное влияние на больных ИБС с сопутствующей артериальной гипертензией, вызывая вегетативные кризы симпатоадреналового характера. (Циклон – это огромный атмосферный вихрь с пониженным давлением воздуха. Он обладает колоссальной энергией и несет с собой сильные ветры (в том числе шквалы), осадки, включая грозы. Антициклон – противоположность циклону: атмосферное давление в антициклоне повышенное. Антициклон, в отличие от циклона, стабилизирует погоду – на территории, над которой он проходит, устанавливается малооблачная погода, летом жаркая, зимой морозная. – Прим. автора.)

Анализ 4-летнего наблюдения, выполненный сотрудниками Кемеровской государственной медицинской академии (регион Западной Сибири) [36], показал статистически значимые сезонные изменения частоты случаев смерти от ССЗ атеросклеротического генеза (в первую очередь ИБС и цереброваскулярной патологии) с наименьшим показателем в летний (июнь) и наибольшим в зимний (январь,

февраль) периоды календарного года. Число женщин, умерших зимой (28,0 %), было заметно выше, чем умерших летом (23,3 %) ($p < 0,001$). Как в возрастной группе младше 60 лет, так и в группах от 60 до 69 лет и старше 70 лет у женщин сохранялся достоверно значимый зимний пик смертности. У мужчин сезонные влияния на показатели смертности были менее выражены, чем у женщин. Так, у мужчин, умерших в возрасте до 60 лет и от 60 до 69 лет, частота смертельных случаев по сезонам года не различалась. Только в возрастной группе мужчин старше 70 лет отмечалось увеличение в 1,3 раза числа смертельных исходов в зимнее время по отношению к наиболее благоприятному летнему сезону ($p < 0,001$). По заключению авторов зимний период календарного года является неблагоприятным в отношении сердечно-сосудистой смертности, что авторы связывают с малой продолжительностью светового дня, низкими температурами, а также, возможно, и с сезонным возрастанием уровня липидов в крови, содержания в ней тромбоцитов и фибриногена.

О.В. Алябина и соавт. [37] изучали внутригодовую динамику обострений ССЗ (артериальной гипертензии, ИБС и цереброваскулярных расстройств) по данным службы «скорой помощи» г. Барнаула. Динамика числа обострений показала сезонный ход с летним минимумом (июнь, июль, август и сентябрь). Максимальное число обострений пришлось на январь, февраль, март. Наиболее ярко были выражены сезонные различия у пациентов с артериальной гипертензией.

По данным Е.А. Григорьевой, А.Б. Суховеевой [38], для мужчин – жителей Дальнего Востока России характерно максимальное развитие сердечно-сосудистых катастроф в декабре и июне, минимальное – в августе. Для женщин вероятность развития смертельного исхода ССЗ наиболее высока в холодное время года с максимумами в декабре и феврале.

S. Haberman et al. [39] изучали смертность от ИБС, гипертонической болезни, пневмонии и бронхита в южной части острова Великобритания (Англии и Уэльсе) в 1975 г. Общей особенностью этих заболеваний была высокая смертность в зимне-весенний период и низкая смертность поздним летом.

Другие виды ССЗ

Одним из наиболее распространенных ССЗ является венозный тромбоэмболизм (ВТЭ). Чаще всего это заболевание бывает представлено тромбозом глубоких вен голени и тромбоэмболией легочной артерии. По мнению специалистов, в происхождении ВТЭ большую роль играет наследственный фактор риска, определяемый как склонность к тромбообразованию вследствие повышенной свертываемости крови (гиперкоагуляции).

Диагностика ВТЭ крайне трудна. В первую очередь это связано с частым отсутствием клинической симптоматики. Здесь может помочь информация о сезонных особенностях клинических проявлений ВТЭ. По данным итальянских исследователей [40], ВТЭ наиболее часто обнаруживается осенью (для мужчин в возрасте от 41 до 80 лет это сентябрь – октябрь) и наименее часто – весной.

Главным в борьбе с ВТЭ является профилактика, поэтому, как подчеркивают авторы, лица с повышенным риском развития ВТЭ должны учитывать сезонный фактор при использовании профилактических мероприятий.

M. Gallerani et al. [41] с точки зрения сезонных эффектов рассматривают тромбоэмболию легочной артерии как самостоятельное заболевание («легочный эмболизм»). Выполненный этими авторами анализ данных, полученных в регионе Эмилия-Романья (Северная Италия), показал, что частота этого заболевания повышается зимой (в ноябре – декабре) и снижается весной.

Итальянские специалисты [42] изучили сезонное распределение случаев нетравматического разрыва грудной аорты, собранных в одной из больниц в провинции Феррара (Северная Италия) в период с 1985 по 1996 г. Оказалось, что наибольшее количество случаев приходилось на зимний период с выраженным пиком в январе. В медицинской практике это означает, что именно к этому периоду должно быть приурочено повышение бдительности и применение наиболее эффективных мер защиты, направленных, в частности, на снижение АД, поскольку высокое АД может спровоцировать разрыв грудной аорты.

Аналогичное исследование, проведенное теми же специалистами [43] в отношении разрыва аневризмы брюшной аорты, позволило выявить сезонные вариации числа случаев с выраженными пиками весной и осенью. По заключению авторов эти данные могут быть использованы при выборе профилактической и терапевтической стратегии борьбы с разрывами брюшной аорты.

Метеорологические факторы и заболеваемость

В 2013 г. в нашей стране вышел в свет 5-й том Атласа временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов [44]. Работы, представленные в этом издании, во многом направлены на раскрытие причинно-следственных связей между заболеваемостью, с одной стороны, и метеофакторами – с другой. Авторы одной из них [45] подчеркивают, что в Москве атмосферное давление зимой испытывает ярко выраженные контрастные изменения; другими словами, в зимний период

здесь наблюдаются сильные и быстрые перепады атмосферного давления. Предполагается, что этот фактор на фоне низких температур и сильных их градиентов, а также высокой влажности и малой освещенности играет существенную роль в увеличении числа вызовов скорой помощи зимой, и не только по поводу сердечно-сосудистых, но и по поводу многих других заболеваний. Очевидно, зимнее время является самым некомфортным для москвичей: число вызовов «скорой помощи» в среднем по Москве зимой в 1,5–2 раза больше, чем летом [46], и основной причиной этого является холодная и в то же время неустойчивая погода. Провоцирующую роль непостоянства погодных условий в развитии заболеваний подчеркивают А.Н. Литвинцев и соавт. [47]. По их мнению, наибольшее влияние на здоровье (по крайней мере, в сибирском регионе, где эти авторы проводили свои исследования) оказывают не сами по себе величины температуры, давления, влажности, скорости ветра, а резкие их изменения – сильное похолодание или быстрое повышение температуры, значительное падение давления, быстрый приток холодного, напитанного влагой воздуха. О том же пишет Н.В. Исмагилов [48, с. 121]: «… быстрые и резкие изменения погоды, температура воздуха, далекая от комфортной, сопровождаемая повышенной влажностью и сильным ветром, пониженная освещенность вызывают отрицательную метеопатическую реакцию со стороны здоровья человека, особенно у пожилых и больных людей».

Сезонный характер заболеваемости и смертности от ИБС и мозговых инсультов часто связывается с температурой воздуха, атмосферным давлением и влажностью. Конкретный характер этих связей во многом зависит от географического положения местности. Многочисленные авторы, особенно из числа тех, кто работал в северных и близких к ним регионах, сходятся в том, что опасность в этом отношении представляет низкая температура воздуха. Еще в 1984 г. было высказано предположение, что увеличение количества тромбоцитов, эритроцитов и повышение вязкости крови в холодную погоду может быть причиной роста случаев тромбоза коронарных и мозговых сосудов, в особенности если эти изменения выступают на фоне высокого артериального давления и увеличения концентрации в крови холестерина [49].

Согласно общему заключению Г.С. Голицына и соавт. [50], до 60 % сердечно-сосудистых катастроф связаны с изменениями погоды. Крайне неблагоприятны погодные условия, в которых отмечается одновременное резкое понижение атмосферного давления (на 12 Гпа и более), повышение влажности (на 18 % и более) и температуры воздуха (на 12 °С и выше). Сочетание этих изменений приводит к резкому снижению содержания в атмосфере кислорода. В таких условиях у людей довольно часто возникают реакции гипоксического типа, проявляющиеся в виде слабости, сонливости, ощущения недостатка воздуха, одышки, болей ишемического характера. У больных гипертонической болезнью повышение АД часто связано с резким повышением атмосферного давления в сочетании с резким снижением температуры воздуха и увеличением влажности воздуха.

Следует обратить внимание на то, что опасность низких температур присутствует не только в северных регионах. По мнению группы авторов, позиционирующих себя как The Eurowinter Group (Группа «Европейская зима»), увеличение смертности от ССЗ особенно характерно для регионов, отмеченных сравнительно теплыми зимами (юг Европы), где многие люди плохо обогревают жилые помещения, не носят шапок, перчаток и теплых курток, а при снижении температуры до +7 °С дрожат от холода и редко выходят на улицу, предпочитая малоподвижный образ жизни [51]. Обсуждая эту работу, M.A. MacKenzie [52] подчеркивает, что на способность противостоять негативному воздействию пониженной температуры оказывают влияние такие факторы, как адекватное потребление теплой пищи и подогретых напитков, толщина подкожной жировой прослойки, полноценность питания по его основным компонентам, развитость мускулатуры, возраст, физическая подготовка, опыт пребывания в холодных условиях, состояние здоровья, употребление наркотиков и алкоголя, а также скорость ветра и влажность воздуха. Все это может оказывать влияние на частоту и исход ССЗ в холодное время года.

Из указанного ясно, что, по крайней мере, жителям средних и высоких широт доступны простые меры предосторожности для уменьшения сердечно-сосудистых рисков в зимний период года. Но нужно подчеркнуть, что эти меры должны сочетаться с общими профилактическими мероприятиями, ориентированными на любой сезон года. К ним относятся, прежде всего, активный двигательный режим, диета, направленная на ограничение массы тела, отказ от вредных привычек, полноценный сон и регулярный отдых, хорошие отношения в семье и на работе, т.е. все то, что объединяется понятием здорового образа жизни. С возрастом полезно периодически контролировать АД, уровень холестерина и сахара крови. Только при условии комплексного применения всех этих рекомендаций можно добиться успеха в профилактике ССЗ.

Выводы

1. Сезонный характер заболеваемости и смертности от ИБС и мозговых инсультов чаще всего связывается с температурой воздуха, атмосферным давлением и влажностью. Конкретный характер

этих связей во многом зависит от географического положения местности. В средних и высоких широтах опасность в этом отношении представляет зимний период, отмеченный, во-первых, низкими температурами воздуха, а во-вторых, неустойчивой погодой с резкими перепадами температуры, влажности и атмосферного давления.

2. В холодный период года у обитателей умеренного географического пояса и приполярных областей отмечается увеличение количества тромбоцитов, эритроцитов, фибриногена, снижение объема плазмы и как следствие повышение вязкости крови, что может быть причиной роста случаев тромбоза коронарных и мозговых сосудов, в особенности если эти изменения выступают на фоне высокого АД и увеличения концентрации в крови холестерина.

3. Уменьшению сердечно-сосудистых рисков в зимний период способствуют комфортный тепловой режим помещений, ношение теплой одежды, использование разогретой пищи, полноценное, сбалансированное питание, хорошая физическая подготовка. На протяжении всего года необходимо придерживаться здорового образа жизни и осуществлять медицинское наблюдение за состоянием организма.

Работа выполнена в соответствии с программой Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине» за 2013 г. (п. III.1 «Исследование влияния факторов окружающей среды на здоровье человека»).

Список литературы

1. Информационный бюллетень ВОЗ № 317 (январь 2015 г.). [Электронный ресурс]. URL: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/ (дата обращения: 18.07.2016).

WHO news bulletin № 317 (January 2015). [Electronic resource]. URL: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/ (request date: 18.07.2016).

2. *Голухова Е.З.* Заболевания сердечно-сосудистой системы – пандемия современной эпохи. Социальное значение и последствия. [Электронный ресурс]. URL: http://heart-master.com/clinic/cardiovascular_disease/ (дата обращения: 18.07.2016).

Golukhova E.Z. Diseases of the cardiovascular system – the pandemic of the modern era. The social significance and implications. [Electronic resource]. URL: http://heart-master.com/clinic/cardiovascular_disease/ (request date: 18.07.2016).

3. *Голиков А.П., Голиков П.П.* Сезонные биоритмы в физиологии и патологии. М., 1973.

Golikov A.P., Golikov P.P. Seasonal biorhythms in physiology and pathology. Moscow, 1973.

4. *Парыгин А.А., Миролюбова О.А., Юрьева Г.Д.* Десинхроноз суточных и сезонных кардиоритмов как основа метеопатических реакций у больных ишемической (ИБС) и гипертонической болезнью (ГБ) // Временная организация чувствительности организма к биологически и экологически активным веществам: Тез. докл. Совещания Проблемной комиссии АМН СССР по хронобиологии и хрономедицине (Свердловск, 25–27 июня 1991 г.). Свердловск, 1991. С. 97–98.

Parygin A.A., Mirolyubova O.A., Yurieva G.D. Desynchronosis of daily and seasonal cardiorhythms as a basis of metheopathic reactions in patients with coronary heart disease (CHD) and essential hypertension (EH) // Temporal organization of sensitivity to biologically and ecologically active substances: Tezisy dokladov Soveshchaniya Problemnoy Komissii AMN SSSR po Khronobiologii i Khronomeditsine (Sverdlovsk, 25–27 June 1991). Sverdlovsk, 1991. P. 97–98.

5. *Тонконоженко В.И., Харлампович С.И.* К вопросу о хронобиологии ишемической болезни сердца // Хронобиология и хронопатология: Тез. докл. на Всесоюз. конф. (Москва, 25–27 ноября 1981 г.). Москва, 1981. С. 235.

Tonkonozhenko V.I., Kharlampovich S.I. To the question on chronobiology of coronary heart disease // Chronobiology and Chronopathology: Tezisy dokladov na Vsesoyuznoy konferentsii (Moscow, 25–27 November, 1981). Moscow, 1981. P. 235.

6. *Попова Т.А.* Сезонная вариабельность некоторых показателей гемодинамики у больных ишемической болезнью сердца, жителей Урала // III Всесоюз. конф. по хронобиологии и хрономедицине (Ташкент, 26–29 сентября 1990 г. (тезисы). М.; Ташкент, 1990. С. 266.

Popova T.A. Seasonal variability of some hemodynamic parameters in patients with coronary heart disease, the Ural residents // III Vsesoyuznaya konferentsiya po khronobiologii i khronomeditsine (Tashkent, 26–29 September, 1990 (tezisy). Moscow; Tashkent, 1990. P. 266.

7. *Габинский Я.Л., Оранский И.Е.* Инфаркт миокарда (биоритмологические и биофизические аспекты). Екатеринбург, 1994.

Gabinsky Ya.L., Oransky I.E. Myocardial infarction (biorhythmological and biophysical aspects). Yekaterinburg, 1994.

8. *Ахметова Б.Х., Кильдибекова Р.Н., Еникеева К.М.* Хронобиологические особенности течения ишемической болезни сердца (ИБС) у рабочих на промышленном предприятии // Проблемы хронобиологии, хронопатологии, хронофармакологии и хрономедицины: Тез. докл. на конференции «Хронобиология и хрономедицина» (Уфа, 26–28 ноября 1985 г.). Т. II. Уфа, 1985. С. 133–134.

Akhmetova B.H., Kildibekova R.N., Enikeyeva K.M. Chronobiological features of coronary heart disease (CHD) among workers at the industrial enterprise // Problems of chronobiology, chronopatology, chronopharmacology and chronomedicine: Tezisy dokladov na konferentsii «Chronobiology and Chronomedicine» (Ufa, 26–28 November, 1985). V. II. Ufa, 1985. P. 133–134.

9. *Рыбак О.К., Бурлака А.Н., Иванникова Н.П. и др.* Влияние сезона года на частоту развития и тяжесть

течения острого инфаркта миокарда, особенности функционирования системы гемостаза у больных ишемической болезнью сердца в климатической зоне Среднего Поволжья // Сарат. науч.-мед. журн. 2007. Т. 3. № 3. С. 68–72.

Rybak O.K., Burlaka A.N., Ivannikova N.P. et al. Influence of year time on the frequency and severity of acute myocardial infarction, functional features of the hemostatic system in patients with coronary heart disease in the climate zone of the Middle Volga region // Saratovskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal. 2007. V. 3. № 3. P. 68–72.

10. *Кудишкина Н.П.* Хронобиологические факторы риска развития острого коронарного синдрома в условиях климатической зоны Среднего Поволжья. [Электронный ресурс]. URL: http://www.dissercat.com/content/khronobiologicheskie-faktory-riska-razvitiya-ostrogo-koronarnogo-sindroma-v-usloviyakh-klima#ixzz44HJGrdAz (дата обращения: 29.03.2016).

Kudishkina N.P. Chronobiological risk factors for acute coronary syndrome in a climate zone of the Middle Volga. [Electronic resource]. URL: http://www.dissercat.com/content/khronobiologicheskie-faktory-riska-razvitiya-ostrogo-koronarnogo-sindroma-v-usloviyakh-klima#ixzz44HJGrdAz (request date: 29.03.2016).

11. *Барбараш О.Л., Барбараш Н.А., Лазик Н.И. и др.* Связь сезона года, сезона рождения и триместров индивидуального года больных ишемической болезнью сердца с риском развития инфаркта миокарда и его осложнений // Тер. архив. 2002. Т. 74. № 9. С. 30–33.

Barbarash O.L., Barbarash N.A., Lazik N.I. et al. The relation of year time, season of birth and individual year trimesters by the coronary heart disease patients to the risk of myocardial infarction and its complications // Terapevticheskiy arhiv. 2002. V. 74. № 9. P. 30–33.

12. *Sarna S., Romo M., Siltanen P.* Myocardial infarction and weather // Ann. of Clin. Res. 1977. V. 9. № 4. P. 222–232.

13. *Wang H., Matsumura M., Kakehashi M. et al.* Effects of atmospheric temperature and pressure on the occurrence of acute myocardial infarction in Hiroshima City, Japan // Hiroshima J. of Med. Sci. 2006. V. 55. № 2. P. 45–51.

14. *Thakur C.P., Anand M.P., Shahi M.P.* Cold weather and myocardial infarction // Inter. J. of Cardiol. 1987. V. 16. № 1. P. 19–25.

15. *Gallerani M., Boari B., Manfredini F. et al.* Seasonal variation in heart failure hospitalization // Clin. Cardiol. 2011. V. 34. № 6. P. 389–394.

16. *Manfredini R., Manfredini F., Boari B. et al.* Seasonal and weekly patterns of hospital admissions for nonfatal and fatal myocardial infarction // Am. J. of Emergency Med. 2009. V. 27. № 9. P. 1097–1103.

17. *Auliciems A., Frost D.* Temperature and cardiovascular deaths in Montreal // Inter. J. of Biometeorol. 1989. V. 33. № 3. P. 151–156.

18. *Douglas A.S., Dunnigan M.G., Allan T.M. et al.* Seasonal variation in coronary heart disease in Scotland // J. of Epidemiol. and Community Health. 1995. V. 49. № 6. P. 575–582.

19. *Douglas A.S., al-Sayer H., Rawles J.M. et al.* Seasonality of disease in Kuwait // Lancet. 1991. V. 337. № 8754. P. 1393–1397.

20. *Pell J.P., Cobbe S.M.* Seasonal variations in coronary heart disease // QJM: An Inter. J. of Med. 1999. V. 92. № 12. P. 689–696.

21. *Woodhouse P.R., Khaw K.T., Plummer M. et al.* Seasonal variations of plasma fibrinogen and factor VII activity in the elderly: winter infections and death from cardiovascular disease // Lancet. 1994. V. 343. № 8895. P. 435–439.

22. *Загидуллин Ш.З., Ильясова Л.И., Ганцева Х.Х. и др.* Сезонные и суточные колебания заболеваемости населения по данным скорой помощи // Проблемы хронобиологии, хронопатологии, хронофармакологии и хрономедицины: Тез. докл. на конф. «Хронобиология и хрономедицина» (Уфа, 26–28 ноября 1985 г.). Т. II. Уфа, 1985. С. 143–144.

Zagidullin Sh.Z., Ilyasova L.I., Gantseva Kh.Kh. et al. Seasonal and daily fluctuations in population morbidity according to ambulance service // Problems of chronobiology, chronopatology, chronopharmacology and chronomedicine: Tezisy dokladov na konferentsii «Chronobiology and Chronomedicine» (Ufa, 26–28 November, 1985). V. II. Ufa, 1985. P. 143–144.

23. *Ramirez-Lassepas M., Haus E., Lakatua D.J. et al.* Seasonal (circannual) periodicity of spontaneous intracerebral hemorrhage in Minnesota // Ann. of Neurol. 1980. V. 8. № 5. P. 539–541.

24. *Sobel E., Zhang Z.X., Alter M. et al.* Stroke in the Lehigh Valley: seasonal variation in incidence rates // Stroke. 1987. V. 18. № 1. P. 38–42.

25. *Biller J., Jones M.P., Bruno A. et al.* Seasonal variation of stroke – does it exist? // Neuroepidemiol. 1988. V. 7. № 2. P. 89–98.

26. *Pasqualetti P., Natali G., Casale R. et al.* Epidemiological chronorisk of stroke // Acta Neurologica Scandinavica. 1990. V. 81. № 1. P. 71–74.

27. *Gallerani M., Manfredini R., Ricci L. et al.* Chronobilogical aspects of acute cerebrovascular diseases // Ibid. 1993. V. 87. № 6. P. 482–487.

28. *Manfredini R., Gallerani M., Portaluppi F. et al.* Chronobiological patterns of onset of acute cerebrovascular diseases // Thrombosis Res. 1997. V. 88. № 6. P. 451–463.

29. *Jakovljević D., Salomaa V., Sivenius J. et al.* Seasonal variation in the occurrence of stroke in a Finnish adult population. The FINMONICA Stroke Register. Finnish Monitoring Trends and Determinants in Cardiovascular Disease // Stroke. 1996. V. 27. № 10. P. 1774–1779.

30. *Lanska D.J., Hoffmann R.G.* Seasonal variation in stroke mortality rates // Neurol. 1999. V. 52. № 5. P. 984–990.

31. *Suzuki K., Kutsuzawa T., Takita K. et al.* Clinico-epidemiologic study of stroke in Akita, Japan // Stroke. 1987. Vol. 18. № 2. P. 402-406.

32. *Shinkawa A., Ueda K., Hasuo Y. et al.* Seasonal variation in stroke incidence in Hisayama, Japan // Ibid. 1990. V. 21. № 9. P. 1262–1267.

33. *Berginer V.M., Goldsmith J., Batz U. et al.* Clustering of stokes in association with meteorologic factors in the Negev Desert of Israel: 1981–1983 // Ibid. 1989. V. 20. № 1. P. 65–69.

34. *Rothwell P.M., Wroe S.J., Slattery J. et al.* Is stroke incidence related to season or temperature? The Oxfordshire Community Stroke Project // Lancet. 1996. V. 347. № 9006. P. 934–936.

35. *Гранберг И.Г., Голицын Г.С., Васин В.А. и др.* Усовершенствование исследований этиологии и патогенеза основных социально значимых заболеваний на основе изучения их связи с экологическими и метеорологическими факторами в ряде типичных индустриальных и рекреационных регионов России // Фундаментальные науки – медицине: Матер. конф. (Москва, 27–29 ноября 2006 г.). М., 2006. С. 34–36.

Granberg I.G., Golitsyn G.S., Vasin V.A. et al. Improvement of the etiology and pathogenesis studies of basic socially significant diseases by studying their relationship to environmental and meteorological factors in a number of typical industrial and recreational regions of Russia // Fundamental Sciences – for Medicine. Conference Proceedings (Moscow, November 27-29, 2006). Moscow, 2006. P. 34–36.

36. *Фомина Н.В., Алтарев С.С., Барбараш О.Л.* Связь годовых индивидуальных биологических ритмов с риском смерти от сердечно-сосудистых заболеваний // Казан. мед. журн. 2007. Т. 88. № 6. С. 547–550.

Fomina N.V., Altarev S.S., Barbarash O.L. The relation of annual individual biological rhythms to the risk of death from cardiovascular diseases // Kazanskiy meditsinskiy zhurnal. 2007. V. 88. № 6. P. 547–550.

37. *Алябина О.В., Васильев В.П., Максимов А.В. и др.* Изучение взаимосвязи между обострениями сердечно-сосудистых заболеваний, метеофакторами и солнечной активностью // Изв. Алтайского гос. университета. 2007. № 3. С. 7–10.

Alyabina O.V., Vasiliev V.P., Maksimov A.V. et al. The study of the relationship between exacerbation of cardiovascular disease, meteorological factors and solar activity // Izvestiya Altayskogo Gosudarstvennogo universiteta. 2007. № 3. P. 7–10.

38. *Григорьева Е.А., Суховеева А.Б.* Сезонная динамика показателей смертности населения города Биробиджана // Изв. Самар. науч. центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3 (6). С. 1756–1759.

Grigorieva E.A., Sukhoveeva A.B. Seasonal dynamics of Birobidzhan city population mortality // Izvestiya Samarskogo nauchnogo Tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk. 2013. V. 15. № 3 (6). P. 1756–1759.

39. *Haberman S., Capildeo R., Rose F.C.* The seasonal variation in mortality from cerebrovascular disease // J. of the Neurol. Sci. 1981. V. 52. № 1. P. 25–36.

40. *Manfredini R., Imberti D., Gallerani M. et al.* Seasonal variation in the occurrence of venous thromboembolism: data from the MASTER Registry // Clin. and Appl. Thrombosis/Hemostasis. 2009. V. 15. № 3. P. 309–315.

41. *Gallerani M., Boari B., Smolensky M.H. et al.* Seasonal variation in occurrence of pulmonary embolism: analysis of the database of the Emilia-Romagna region, Italy // Chronobiol. Inter. 2007. V. 24. № 1. P. 143–160.

42. *Manfredini R., Portaluppi F., Salmi R. et al.* Seasonal variation in the occurrence of nontraumatic rupture of thoracic aorta // Am. J. of Emergency Med. 1999. V. 17. № 7. P. 672–674.

43. *Manfredini R., Portaluppi F., Gallerani M. et al.* Seasonal variations in the rupture of abdominal aortic aneurysms // Japan. Heart J. 1997. V. 38. № 1. P. 67–72.

44. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 5. Человек и три окружающие его среды. М., 2013.

Atlas of temporal variations of natural, antropogenic and social processes. V. 5. The human and three surrounding environments. Moscow, 2013.

45. *Горбаренко Е.В., Еремина И.Д., Исаев А.А. и др.* Динамика некоторых эколого-климатических характеристик атмосферы в Москве (по данным метеообсерватории МГУ) // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 5. Человек и три окружающие его среды. М., 2013. С. 78–93.

Gorbarenko E.V., Eryomina I.D., Isaev A.A. et al. Dynamics of some ecological and climatic atmosphere characteristics in Moscow (according to data meteorological observatory of State University) // Atlas of temporal variations of natural, antropogenic and social processes. V. 5. The human and three surrounding environments. Moscow, 2013. P. 78–93.

46. *Гамбурцев А.Г., Андреев Е.М., Аптикаева О.И. и др.* Влияние трех окружающих сред на медицинские показатели. Опыт сопоставительного анализа // Там же. С. 326–414.

Gamburtsev A.G., Andreev E.M., Aptikaeva O.I. et al. Effect of three surrounding environments on the medical data. Experience of the comparative analysis // Ibid. P. 326–414.

47. *Литвинцев А.Н., Андрийчук В.И., Середа Н.Н.* Влияние метеорологических факторов и загрязнений атмосферного воздуха на возникновение инфаркта миокарда // Сиб. мед. журн. (Иркутск). 1997. Т. 9. № 1–2. С. 16–18.

Litvintsev A.N., Andriychuk V.I., Sereda N.N. Influence of meteorological factors and air pollution on the occurrence of myocardial infarction // Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk). 1997. T. 9. № 1–2. P. 16–18.

48. *Исмагилов М.В.* Патогенность погодных условий г. Казани // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований: Труды Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Т. 2. Казань, 2009. С. 121–124.

Ismagilov M.V. The pathogenicity of weather conditions in Kazan-city // Surrounding environment and sustainable development of the regions: new research methods and technologies: Trudy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. V. 2. Kazan, 2009. P. 121–124.

49. *Keatinge W.R., Coleshaw S.R., Cotter F. et al.* Increases in platelet and red cell counts, blood viscosity, and arterial pressure during mild surface cooling: factors in

mortality from coronary and cerebral thrombosis in winter // Brit. Med. J. 1984. V. 289. № 6456. P. 1405–1408.

50. *Голицын Г.С., Гранберг И.Г., Поволоцкая Н.П.* Атмосфера и здоровье. [Электронный ресурс]. URL: http://meteoinfo.ru/meteo-med-golicin (дата обращения: 11.03.2016).

Golitsyn G.S., Granberg I.G., Povolotskaya N.P. Atmosphere and health. [Electronic resource]. URL: http://meteoinfo.ru/meteo-med-golicin (request date: 11.03.2016).

51. The Eurowinter Group. Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe // Lancet. 1997. V. 349. № 9062. P. 1341–1346.

52. *MacKenzie M.A.* Cold exposure and winter mortality in Europe // Ibid. 1997. V. 350. № 9077. P. 590–591.

Поступила 19.04.2016

SEASONAL FACTOR IN MANIFESTATIONS OF CARDIOVASCULAR PATHOLOGIES

Galichiy V.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 1. P. 5–15

The review expounds the present-day conception about seasonal variations of the rates of morbidity and mortality from cardiovascular pathologies. Dependence of the two rates on meteorological factors such as air temperature, humidity and atmospheric pressure is demonstrated. In high and middle latitudes the risk of development and acute condition of cardiovascular diseases is commonly linked to winter period marked not only by low temperatures, but also changeable weather with sharp jumps in atmospheric temperature, humidity and pressure. The cardiovascular risk in these regions can be controlled by providing indoor thermal comfort, wearing warm clothes, eating warmed-up meal, adequate well-balanced but not heavy diet, physical exercises, absence of any other diseases, diabetes mellitus first of all. Throughout the year it is important to adhere to the healthy life-style and to check blood pressure and levels of cholesterol and sugar.

Key words: cardiac artery disease, myocardium infarction, essential hypertension, cerebrovascular disorders, morbidity rate, mortality rate, meteorological factors.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 612.821

АКСИАЛЬНОЕ НАГРУЖЕНИЕ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРИ РЕЗИСТИВНОЙ ТРЕНИРОВКЕ КОСМОНАВТОВ КАК МЕТОД ПРОФИЛАКТИКИ ГИПОГРАВИТАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ

Кукоба Т.Б.[1], Фомина Е.В.[1, 2]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва
[2]Московский государственный педагогический университет

E-mail: fomin-fomin@yandex.ru

Расширены представления гравитационной физиологии об изменениях в функционировании двигательной системы человека после длительного пребывания в условиях невесомости на основе оценки изменения состояния мышц при различной интенсивности аксиального нагружения во время резистивной тренировки в ходе космического полета. В статье представлены результаты сравнительного анализа групп космонавтов, различающихся по интенсивности стимуляции сенсорных входов двигательной системы во время длительного пребывания человека в условиях невесомости. Показано, что наибольший эффект в сохранении произвольной силы мышц ног достигается космонавтами использовавшими аксиальное нагружение величиной более 100 % от массы тела в упражнениях «Приседания» и «Подъемы на носки» при выполнении их с небольшим количеством повторений. Сохранению силовой выносливости мышц бедра, способствует аксиальное нагружение, составляющее от 30 до 100 % от массы тела, с количеством повторений более 30 раз. Описана закономерность развития скоростно-силовых способностей в условиях невесомости на фоне мышечных изменений, перестроек в мышечном волокне и в системе управления движениями, обусловливаемых отсутствием гравитации.

Ключевые слова: резистивные упражнения, невесомость, скоростно-силовые качества мышц, космонавты.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 1. С. 16–21.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-16-21

Одними из важнейших направлений гравитационной физиологии являются исследования влияний микрогравитации на двигательный аппарат и системы двигательного регулирования человека. В связи с увеличением длительности космических полетов (КП) и расширением вследствие этого круга решаемых в полете двигательных задач большое значение приобретают прогнозирование и профилактика нарушений в двигательной системе человека. Описать гипогравитационные нарушения, выделить стадии и раскрыть механизмы их развития позволили исследования двигательной сферы в невесомости и условиях, моделирующих ее эффекты (гипокинезии, иммерсии и др.) [1–4].

Ранее М.А. Черепахиным (1968), И.Б. Козловской (2013), Г.И. Гевлич, Л.С. Григорьевым и др. (1983) было показано, что среди системных интегральных проявлений гипогравитационного двигательного синдрома ведущее место занимают костно-мышечные и двигательные нарушения. При кратковременном воздействии невесомости синдром проявляется снижением мышечного тонуса, силы мышечных сокращений, выраженных преимущественно в гравитационной мускулатуре ног и туловища, мышечной гиперрефлексией и координационными нарушениями [1–10]. При более длительном воздействии невесомости эти явления осложняются развитием атрофических процессов, снижением силы и выносливости мышц [11, 12]. Уменьшается мышечная масса [3, 11–15], ухудшается координация движений, что выражается в резком снижении вертикальной устойчивости, изменении паттерна локомоторных актов, снижении выносливости и общей работоспособности и т.д. [3, 4, 11, 13–17].

Важную роль в развитии вышеперечисленных нарушений играет фактор безопорности. Предполагается, что устранение опоры, а следовательно, и уменьшение активности опорного афферентного входа сопровождается существенным снижением тонической мышечной активности [7, 17, 18]. В проведенных нами исследованиях была проверена гипотеза о том, что стимуляция опорного входа во время выполнения тренировок позволяет уменьшить глубину гипогравитационных изменений в мышечной системе.

Целью исследования являлось изучение влияния аксиальной нагрузки разной интенсивности при резистивной тренировке для предотвращения гипогравитационных изменений в мышечной системе.

Задачи:

1. Проанализировать варианты параметров нагрузки при выполнении космонавтами резистивных тренировок на тренажере ARED во время полета.

2. Изучить изменения максимальной произвольной силы мышц ноги силовой выносливости мышц бедра человека после КП.

3. Определить оптимальные параметры нагрузки в резистивной тренировке в ходе КП.

Методика

Исследование проводили в рамках пред- и послеполетного эксперимента «Исследование адаптивных перестроек силовых показателей человека после длительного пребывания в невесомости» (шифр «Изокинез», одобренного Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН, протокол № 418 от 16.03.2016 г.). В исследовании приняли участие 25 космонавтов, выполнивших КП длительностью от 163 до 364 сут.

Средняя масса тела космонавтов, прошедших перед полетом физическую подготовку на базе ФГБУ «Научно-исследовательского испытательного центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина» по утвержденным индивидуальным программам, до начала КП составляла 83,5 ± 6,8 кг. На начало полета физическая форма у всех космонавтов оценивалась как «хорошая». Согласно устным отчетам до полета 11 космонавтов отдавали предпочтение резистивным тренировкам, 8 – локомоторным и 7 – не имели предпочтений.

В ходе полета физические тренировки выполнялись ежедневно 2 раза в день в течение 2,5 ч с использованием бегущей дорожки, силового тренажера ARED и велотренажера. Как известно, основными средствами в российской системе профилактики являются локомоторные тренировки, выполняемые по протоколам 4-дневного тренировочного микроцикла, который включает 3 нагрузочных дня, направленных на поддержание скоростно-силовых качеств и выносливости, и 1 день активного отдыха [19–23].

Резистивные тренировки в ходе полета космонавты выполняли через день (3–4 раза в нед), чередуя при этом два комплекса упражнений. Один комплекс включал в себя упражнения для мышц плечевого пояса, 2-й – упражнения для мышц туловища, при этом в каждый комплекс входили упражнения для мышц ног – «Приседания» и «Подъемы на носки».

Исходные параметры нагрузки для каждого упражнения на тренажере ARED подбирали индивидуально с учетом веса тела космонавта на земле и его физической подготовленности в данное время. В процессе исследования проводили анализ параметров нагрузки только при выполнении упражнений «Приседания» и «Подъемы на носки», создающих аксиальную нагрузку по вертикальной оси тела во время их выполнения.

Было выделено 3 группы, отличавшиеся по интенсивности аксиальной нагрузки, создаваемой в упражнениях «Приседания» и «Подъемы на носки». Нагрузку рассчитывали относительно массы тела космонавта на Земле. Группу А (n = 9) составили космонавты, выполнявшие упражнения «Приседания» и «Подъемы н носки» с аксиальной нагрузкой, составлявшей более 100 % от массы тела, и использовавшие до 30 повторений в каждом из 3–4 подходов. Космонавты, выполнявшие упражнения «Приседания» и «Подъемы на носки» с аксиальной нагрузкой, составлявшей от 30 до 100 % от массы тела, и использовавшие более 30 повторений в 3–4 подходах, составили группу В (n = 9). Космонавты, выполнявшие те же упражнения с аксиальной нагрузкой, составлявшей не более 30 % от массы тела, и использовавшие до 16 повторений в 2–3 подходах, или не выполнявшие резистивные упражнения на тренажере ARED, составили группу С (n = 7). Исходно группы не различались по показателям максимальной произвольной силы (МПС) и силовой выносливости мышц.

Оценку произвольной силы и силовой выносливости мышц ног космонавтов до начала и после завершения полетов проводили по результатам изокинетического тестирования (силовой динамометр «Sybex»). Регистрировали моменты сил при выполнении движений, осуществляемых с заданной угловой скоростью. Обследования выполнялись за 60 и 30 сут до полета и на 4-е сутки после полета.

Тестирование проводили при строгой стандартизации позы. При тестировании мышц бедра обследуемый сидел неподвижно в специальном кресле: плечи, талия и бедра фиксировались с помощью ремней. Ось вращения колена обследуемого совмещалась с осью вала динамометра. Педаль динамометра регулировалась таким образом, чтобы хомут находился в проксимальном положении относительно medial malleolus, ногу фиксировали ремнями к педали динамометра. Устанавливался допустимый диапазон движения в коленном суставе. В ходе тестирования МПС обследуемый совершал одиночные сгибания и разгибания в коленном суставе с максимально возможными силой и амплитудой. Выполняли 5 движений на угловой скорости 60 °/с. Силовую выносливость четырехглавой мышцы бедра оценивали по результатам 22 сгибаний и разгибаний коленного сустава на угловой скорости 120 °/с, которые выполнялись с максимальными скоростью и амплитудой в том же исходном положении.

При оценке произвольной силы во время тестирования мышц голени обследуемый лежал на кушетке на животе. Стопу фиксировали в специальной педали в таком положении, чтобы ось вращения педали прибора совпадала с осью вращения голеностопного

сустава. Затем плечи и талию с помощью ремней фиксировали к кушетке и устанавливали диапазоны движения в голеностопном суставе. В ходе тестирования обследуемый совершал одиночные тыльные и подошвенные сгибания стопы с максимально возможными силой и амплитудой на угловой скорости 30 °/с поскольку наиболее информативными являются результаты изокинетических тестов, выполненных при низких скоростных режимах.

Статистическая обработка данных выполнялась в программе Statistica 10 с использованием непараметрических методов описательной статистики. Критерий Вилкоксона использовался при сравнении показателей внутри группы, критерий Манна – Уитни – при сравнении между группами. Вычислялись медиана и межквартильный размах.

Результаты и их обсуждение

Анализ протоколов резистивных тренировок, выполнявшихся космонавтами в ходе КП, показал, что в группе А «вес отягощения» в упражнениях «Приседания» достигал 135,0 ± 44,5 % от массы тела, в «Подъемах на носки» – 168,8 ± 61,0 %. Общий объем нагрузки в группе А составлял в «Приседаниях» – 7830,7 ± 1914,4 кг, в «Подъемах на носки» – 10280,3 ± 6651,2 кг за тренировку.

В группе В «вес отягощения» при выполнении упражнений «Приседания» в среднем по группе достигал 88,1 ± 15,0 %, а в упражнениях «Подъемы на носки» – 101,8 ± 12,2 % от массы тела. Общий объем нагрузки в ходе 1 тренировки в среднем составлял в «Приседаниях» 5829,8 ± 3033,0 кг, а в «Подъемах на носки»7406,4 ± 2422,7 кг.

В группе С 4 космонавта не выполняли резистивные упражнения во время КП, три – выполняли упражнения с минимальной нагрузкой. «Вес отягощения» при выполнении упражнений «Приседания» в этой группе составил в среднем 20,4 ± 0,7 % от массы тела, при выполнении упражнений «Подъемы на носки» – 38,3 % ± 14,8 %. Количество повторений колебалось у разных космонавтов от 8 до 30 раз. Средний объем нагрузки в ходе тренировки в этой группе достигал в упражнениях «Приседания» 776,4 ± 26,9 кг, а в упражнениях «Подъемы на носки» – 1569,2 ± 182,0 кг.

Результаты после полетного изокинетического тестирования показали, что в группе А МПС как голени (рис. 1), так и бедра (рис. 2), практически не изменялась после КП. При подошвенном сгибании стопы снижение в среднем составило 3 % от исходных данных. Силовая выносливость экстензоров четырехглавой мышцы бедра в этой группе снижалась в среднем на 13 % (рис. 3).

В группе В статистически значимое снижение МПС мышц голени при подошвенном сгибании (p = 0,03) достигало 24 % (см. рис. 1) и превосходило таковое

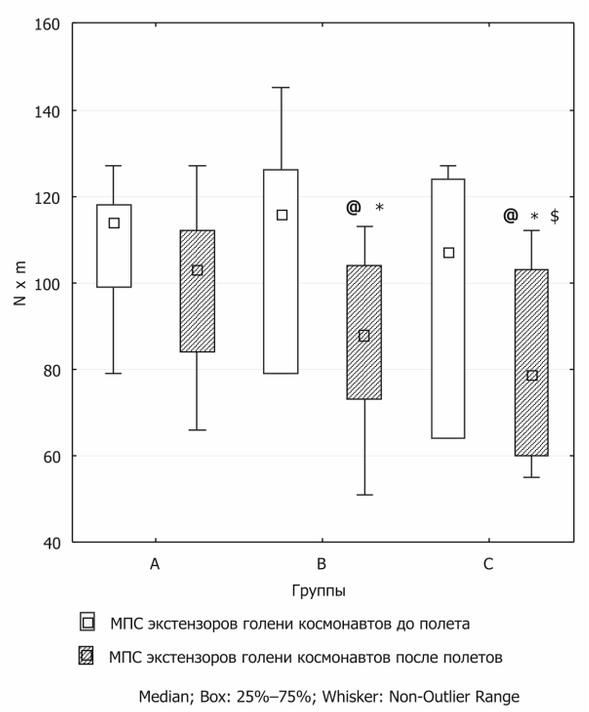

Рис. 1. Максимальная произвольная сила экстензоров голени космонавтов до КП и на 4-е сутки после его завершения, регистрируемая на угловой скорости 30 °/с (А (n = 9); В (n = 9); С (n = 7).
@ – различия достоверны с фоном при p ≤ 0,05; * – различия достоверны с группой А при p ≤ 0,05; $ – различия достоверны с группой В при p ≤ 0,05

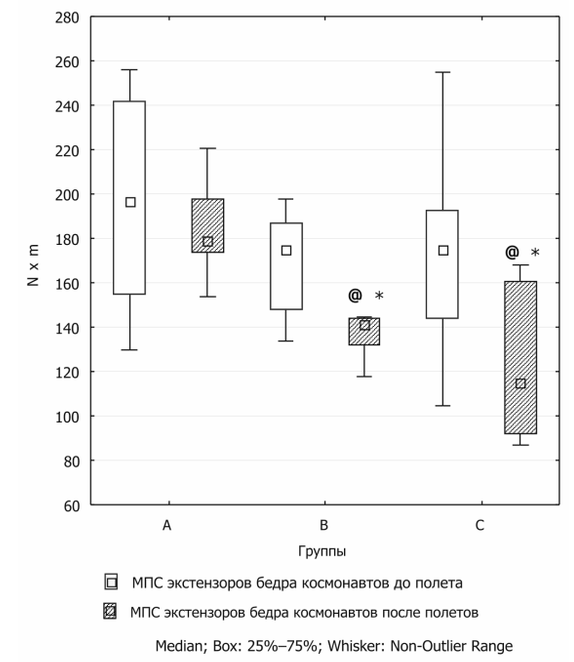

Рис. 2. Максимальная произвольная сила экстензоров бедра космонавтов до КП и на 4-е сутки после его завершения, регистрируемая на угловой скорости 60 °/с (А (n = 9); В (n = 9); С (n = 7).
@ – различия достоверны с фоном при p ≤ 0,05; * – различия достоверны с группой А при p ≤ 0,05

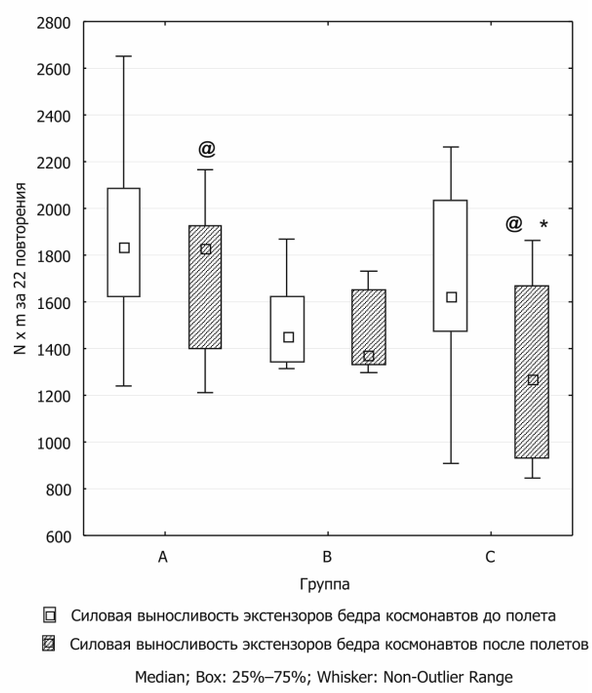

Рис. 3. Силовая выносливость экстензоров бедра космонавтов до КП и на 4-е сутки после его завершения, регистрируемая на угловой скорости 120 °/с (A (n = 9); B (n = 9); C (n = 7).
@ – различия достоверны с фоном при p ≤ 0,05; * – различия достоверны с группой A при p ≤ 0,05

в группе A (p = 0,05). В мышцах-экстензорах бедра оно достигало в среднем по группе 28 % (p = 0,02) от исходного уровня и было значимо большим чем в группе A (см. рис. 2). Силовая выносливость мышц бедра снижалась значимо меньше, чем в группах A и C, достигая при этом 4 % (см. рис. 3).

Наибольшее снижение как МПС мышц ног, так и силовой выносливости мышц бедра, отмечалось в группе C. При подошвенном сгибании стопы потери МПС (p = 0,03) составляли в среднем по группе 52 % от фоновых значений, значимо превосходя таковые в группах A и B (см. рис. 1). Значительно большим, чем в группе A, было также снижение МПС мышц-экстензоров бедра составившее 40 % от фоновых значений (см. рис. 2). Снижение силовой выносливости мышц в среднем достигало 36 % от фоновых значений (p = 0,03), т.е. оказалось значительно большим (p = 0,02), чем в группе A (см. рис. 3).

В целом результаты проведенного нами исследования показали, что в ходе КП при выполнении резистивных тренировок космонавтами имеется большая вариативность комбинирования параметров нагрузки. При этом нами проанализированы 3 основных протокола с выраженными различиями в величине аксиальной нагрузки и компоновке параметров тренировочной нагрузки.

Согласно данным литературы снижение силовых показателей описано как после коротких, так и после длительных КП. Так, после 7-суточных КП сила трехглавой мышцы голени уменьшалась во всем исследуемом скоростном диапазоне на 20–30 % от исходных величин [12, 15], после длительных – произвольная сила мышц голени падала уже на 40 %, а силовая выносливость камбаловидной мышцы – до 55 % [14, 16].

Возможность купирования негативных эффектов невесомости резистивными упражнениями ранее была показана и в модельных экспериментах. Так ко 2-му месяцу пребывания в условиях антиортостатической гипокинезии у испытуемых, использующих физические тренировки (ФТ), отмечали снижение МПС трехглавой мышцы голени на 20 % от исходного уровня, в группе, в которой ФТ в этот период не проводились, снижение МПС было значительно больше, достигая 40 % от фоновых значений (p ≤ 0,05). Таким образом, показана возможность уменьшения атрофических процессов за счет увеличения силовых тренировок.

По результатам нашего исследования в группе A МПС как мышц голени, так и мышц бедра, сохранялась после длительного пребывания в условиях невесомости. Силовая выносливость экстензоров четырехглавой мышцы бедра уменьшилась в среднем на 13 %. В группе B отмечали значительное снижение МПС в мышцах голени при подошвенном сгибании (p = 0,03), потери составили 24 % от фонового уровня. В мышцах бедра снижение МПС достигало в среднем по группе 28 % (p = 0,02) от исходного уровня и было значимо больше, чем в группе A. При этом силовая выносливость мышц бедра снижалась значимо меньше, чем в группах A и C. В группе C было отмечено наибольшее снижение как МПС, так и силовой выносливости мышц бедра. Значительные потери МПС отмечали в мышцах голени при подошвенном сгибании стопы (p = 0,03), в среднем по группе снижение силы по этому показателю составило 52 % от фоновых значений и было значимо больше, чем в группах A и B. Было выявлено значительное снижение МПС мышц-экстензоров бедра, потери силы составили в среднем по группе около 40 % от фоновых значений (p = 0,02) и превосходили таковые в группе A. Снижение силовой выносливости мышц бедра в среднем составляло 36 % от фонового уровня (p = 0,03) и было значительно больше (p = 0,02) по сравнению с двумя другими группами.

Таким образом, благодаря полученным экспериментальным данным нами подтверждена гипотеза о том, что стимуляция опорного входа во время выполнения резистивных тренировок позволяет уменьшить глубину гипогравитационных изменений в мышечной системе, что, в свою очередь, и сопряжено с интенсивностью аксиальной нагрузки,

создаваемой по вертикальной оси тела во время выполнения упражнений. Полученные данные могут быть использованы при разработке рекомендаций космонавтам для профилактики негативных эффектов невесомости в длительных космических миссиях.

Работа поддержана грантом РНФ проект № 14-25-00167.

Список литературы

1. *Какурин Л.И., Черепахин М.А., Первушин В.Н.* Влияние факторов космического полета на мышечный тонус у человека // Косм. биол. и мед. 1971. Т. 5. № 2. С. 63–68.

Kakurin L.I., Cherepakhin M.A., Pervushin V.N. The impact of space flight on muscle tone in humans // Kosmicheskaya biologiya i meditsina. 1971. V. 5. № 2. P. 63–68.

2. *Чхаидзе Л.В.* Координация произвольных движений в условиях космического полета у человека. М., 1968.

Chkhaidze L.V. Coordination of voluntary movements in space flight conditions in humans. Moscow, 1968.

3. *Панов А.Г., Лобзин В.С., Белянкин В.А.* Изменения функций нервной и мышечной систем под влиянием длительной гиподинамии // Проблемы космической биологии. Т.13. М., 1969.

Panov A.G., Lobzin V.S., Belyankin V.A. Changes in the nervous and muscular systems under the influence of prolonged inactivity // Problems of space biology. V. 13. Moscow, 1969.

4. *Черепахин М.А.* Влияние длительного постельного режима на мышечный тонус и проприорецептивные рефлексы здорового человека // Косм. биол. и мед. 1968. № 2. С. 43–47.

Cherepakhin M.A. Effect of prolonged bed rest on muscle tone and proprioceptive reflexes of a healthy person // Kosmicheskaya biologiya i meditsina. 1968. № 2. P. 43–47.

5. *Гурфинкель В.С., Пальцев В.И., Фельдман А.Г., Эльнер А.М.* Изменения некоторых двигательных функций человека после длительной гипокинезии // Проблемы космической биологии. Т. 13. М., 1969.

Gurfinkel V.S., Pal'tsev V.I. Fel'dman A.G., El'ner A.M. Changes in some motor function in man after prolonged hypokinesia // Problems of space biology. V. 13. Moscow, 1969.

6. *Gopalakrishnan R., Genc K.O. et al.* Muscle volume, strength, endurance, and exercise loads during 6-month missions in space // Aviat. Space Environ. Med. 2010. V. 81. № 2. P. 91–102.

7. *Козловская И.Б.* Сенсорные функции и системы двигательного управления // Космическая медицина и биология / А.И. Григорьев, И.Б. Ушаков, ред. Воронеж. 2013.

Kozlovskaya I.B. Sensory and motor functions of the control system // Space medicine and biology / A.I. Grigoriev, I.B. Ushakov, eds. Voronezh, 2013.

8. *Гевлич Г.И., Григорьева Л.С. и др.* Оценка тонуса скелетных мышц методом регистрации поперечной жесткости // Косм. биол. и авиакосм. мед. 1983. Т. 27. № 5. С. 86–89.

Gevlich G.I., Grigorieva L.S. et al. Evaluation of skeletal muscle tone by recording transverse rigidity // Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina. 1983. V. 27. № 5. P. 86–89.

9. *Koriyak Yu.A.* Electromyographic study of the contractile and electrical properties of the human triceps surae muscle in a simulated microgravity environment // J. Physiol. 1998. V. 510. № 1. P. 287–295.

10. *Koriyak Yu.A., Kozlovskaya I.B.* Influences of antiorthostatic bed rest (ABR) of functional properties of neuromuscular system in man // Physiologist. 1991. V. 34. № 1. P. 7–9.

11. *Trappe S., Costill D. et al.* Exercise in space: human skeletal muscle after 6 months aboard the International Space Station // J. Appl. Physiol. 2009. V. 106. № 4. P. 1159–1168.

12. *Fitts R.H., Riley D.R., Widrick J.J.* Physiology of a microgravity environment invited review: microgravity and skeletal muscle // Ibid. 2000. V. 97. P. 823–839.

13. *Berry Ch.A.* Weightlessness // Bioastronoutics data book. 2nd ed., NASA, Washington, 1973.

14. *Petersen N., Jaekel P. et al.* Exercise in space: the European Space Agency approach to in-flight exercise countermeasures for long-duration missions on ISS // Extrem. Physiol. Med. 2016. 5:9 DOI: 10.1186/s13728-016-0050-415.

15. *Thomson W.E., Rummel M.D.* Muscular deconditioning and its prevention in space flights // Prog. Skylab Life Sci. Symp. 1974. V. 11. P. 403–404.

16. *Пурахин Ю.Н., Какурин Л.И., Георгиевский В.С., Михайлов В.М.* Регуляция вертикальной позы после полета на кораблях «Союз-6» – «Союз-8» и 120-суточной гипокинезии // Косм. биол. и мед. 1972. Т. 6. № 6. С. 47–53.

Purakhin Yu.N., Kakurin L.I., Georgevsky V.S., Mikhaylov V.M. Adjusting vertical position after the flight on «Soyuz-6» – «Soyuz-8» and 120 day hypokinesia // Kosmicheskaya biologiya i meditsina. 1972. V. 6. № 6. P. 47–53.

17. *Киренская А.В., Козловская И.Б., Сирота М.Г.* Влияние иммерсионной гипокинезии на характеристики ритмической активности двигательных единиц камбаловидной мышцы // Физиол. человека. 1986. Т. 12. № 1. С. 617–632.

Kirenskaya A.V., Kozlovskaya I.B., Sirota M.G. Effect of immersion hypokinesia on the characteristics of the rhythmic activity of motor units soleus // Fiziologiya cheloveka. 1986. V. 12. № 1. P. 617–632.

18. *Григорьева Л.С., Козловская И.Б.* Влияние семисуточной опорной разгрузки на скоростно-силовые свойства скелетных мышц // Косм. биол. и авиакосм. мед. 1983. V. 27. № 4. С. 21–25.

Grigorieva L.S., Kozlovskaya I.B. The impact on the seven-day reference discharge on speed-strength properties of the skeletal muscle // Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina. 1983. V. 27. № 4. P. 21–25.

19. *Kozlovskaya I.B.* Russian system of countermeasures on board of the International Space Station (ISS): the fist results // Acta Astronaut. 2004. № 55. P. 233–237.

20. *Козловсвкая И.Б., Ярманова Е.Н., Егоров А.Д., Степанцов В.И.* Развитие российской системы профилактики неблагоприятных влияний невесомости в

длительных полетах на МКС // Космическая биология и медицина. Т. 1. Международная космическая станция. Российский сегмент. М., 2011.

Kozlovsvkaya I.B., Yarmanova E.N., Egorov A.D., Stepantsov V.I. The development of the Russian system of prevention of adverse effects of weightlessness on a long flight to the ISS // Space biology and medicine. V. 1. International Space Station.The Russian segment. Moscow, 2011.

21. *Козловская И.Б., Ярманова Е.Н., Фомина Е.В.* Российская система профилактики: настоящее и будущее // Авиакосм. и экол. мед. 2013. Т. 47. № 1. С. 13–20.

Kozlovskaya I.B., Yarmanova E.N., Fomina E.V. Russian system of prevention: present and future // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2013. V. 47. № 1. P. 13–20.

22. *Шпаков А.В., Воронов А.В., Фомина Е.В. и др.* Сравнительный анализ эффективности различных режимов локомоторных тренировок в длительных космических полетах по данным биомеханических и электромиографических характеристик ходьбы // Физиология человека. 2013. Т. 39. № 2. С. 60–69.

Shpakov A.V., Voronov A.V., Fomina E.V. Comparative analysis of the effectiveness of different modes of locomotion training in long-term space missions according to biomechanical and electromyographic characteristics of the walk // Fiziologiya cheloveka. 2013. T. 39. № 2. P. 60–69.

23. *Фомина Е.В., Лысова Н.Ю.* Сравнительный анализ профилактической эффективности различных режимов локомоторных тренировок в условиях космического полета // Физиология человека. 2016. Т. 42. № 5. С. 539–545.

Fomina E.V., Lysova N.Yu. Comparative analysis of the prophylactic efficacy of different modes of locomotion training in space flight // Fiziologiya cheloveka. 2016. T. 42. № 5. P. 539–545.

Поступила 19.01.2017

AXIAL LOADING OF VARYING INTENSITY DURING RESISTANCE TRAINING OF COSMONAUTS AS A COUNTERMEASURE AGAINST HYPOGRAVITATIONAL DISORDERS

Kukoba T.B., Fomina E.V.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 1. P. 16–21

Studies of the muscular response to axial loading of varying intensity in the course of resistance training of space crews on missions have broadened the knowledge of gravitational physiology about changes in the functioning of human motor system after long-term existence in microgravity. The paper presents the results of comparative analysis of groups of cosmonauts differing in the intensity of sensory stimulation of the motor system during extended stay in microgravity. It was shown that the best effect of maintaining the voluntary force of leg muscles was gained by cosmonauts who did few repetitions of the squat and rising-up onto the toes with the axial loading greater than 100 % of body mass. Femoral muscle endurance is maintained effectively by axial loading in the range from 30 to 100 % of body mass and more than 30 repetitions. The authors describe the mechanisms recruited in development of muscle's strength and velocity abilities in microgravity despite the changes in muscles, muscular fibers, and motor control system.

Key words: resistance training, microgravity, muscle's strength and velocity properties, cosmonauts.

УДК 613.693+331.43/.45

ОЦЕНКА ОПЕРАЦИОННОЙ ЗАНЯТОСТИ РОССИЙСКИХ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ (ЭКСПЕДИЦИИ 26/27–39/40)

Степанова С.И., Карпова О.И., Галичий В.А., Нестеров В.Ф., Сараев И.Ф.

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

E-mail: ssi@imbp.ru

Статья посвящена оценке операционной занятости членов экипажей Международной космической станции (МКС) экспедиций 26/27–39/40. Был проведен анализ материалов еженедельных заключений, составляемых экспертами Московского центра управления полетами (ЦУП-М) по данным ежедневного полетного мониторинга режима труда и отдыха космонавтов, содержащих сведения о характере выполняемых работ, плановой и дополнительной (сверхплановой) рабочей нагрузке членов экипажей. На основе нормативов предельно допустимых нагрузок в рабочие и выходные дни для каждого полета рассчитали объем сверхнормативной работы, выполненной 1 членом экипажа в среднем за 1 полетную неделю и 1 полетный день.

Рассмотрено 137 еженедельных заключений, полученных в процессе 13 полетов. В 12 полетах российские члены экипажей работали с превышением нормативного лимита рабочего времени. В среднем по всей группе полетов величина ежедневной сверхнормативной нагрузки (в том числе в выходные дни) в расчете на 1 космонавта составляла 0,5 ч, а в некоторых полетах достигала 50–60 мин. Сверхнормативная нагрузка была связана с выполнением как плановых, так и внеплановых работ.

Ключевые слова: сверхплановая рабочая нагрузка, сверхнормативная рабочая нагрузка, плановый резерв, сверхнормативное планирование.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 1. С. 22–27.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-22-27

В полетах на Международной космической станции (МКС) российские космонавты выполняют не только плановые, но и дополнительные, сверхплановые работы [1]. Дополнительные работы включают:

– факультативные задания, внесенные в Task List (факультативными они являются лишь формально; в действительности их трудно избежать потому, что Земля контролирует эту деятельность);

– разгрузку и последующую загрузку грузовых и пилотируемых кораблей, на которые выделяется слишком мало времени и их приходится выполнять как сверхплановые;

– разнообразные поручения, поступающие в текущем режиме от наземных специалистов.

Оценивая рабочую нагрузку космонавтов, медицинские специалисты ориентируются на нормативы ежедневной занятости, согласованные представителями 5 космических агентств – участников программы МКС и закрепленные в действующей полетной документации. Согласно нормативам, ежедневная продолжительность работы с системами и полезной нагрузкой станции не должна превышать 6,5 ч в рабочие дни и 1 ч – в выходные. Эти величины отражают психофизиологические возможности организма в том, что касается работы, и потребности организма в отдыхе. Ранее [2] было показано, что сверхнормативная работа выполняется космонавтами за счет времени, отводимого на отдых, прием пищи, физические тренировки и даже на сон. Это приводит к накоплению усталости, сокращению продолжительности сна и в конечном счете к снижению работоспособности и возрастанию риска ошибочных действий.

Объем сверхнормативной загрузки во многом зависит от особенностей планирования. Рабочее время, предусмотренное суточным планом, может точно соответствовать нормативному пределу. Такой план можно называть нормативным. Следует, однако, учитывать, что нормативным он нередко оказывается лишь формально. В действительности в нормативный план иногда включается столько заданий, что их суммарный объем невозможно выполнить, уложившись в нормативный предел. Российские специалисты называют эти планы хронодефицитными. Чтобы справиться с хронодефицитным планом, космонавты вынуждены тратить дополнительное время. Таким образом, план может выглядеть на бумаге как нормативный, а на деле оказаться перегруженным, отягощенным сверхнормативной нагрузкой. Иначе говоря, нормативный план при условии, если он хронодефицитный, является скрытым источником сверхнормативной работы.

Некоторые операции, осуществляемые в космосе, планируются с превышением нормативного лимита рабочего времени. Например, в день выполнения

внекорабельной деятельности плановая продолжительность работы может составлять 16–18 ч. Поскольку такой план несет с собой 9,5–11,5 рабочего часа, превышающих нормативный предел, он заслуживает названия сверхнормативного. В противоположность этому возможно планирование «с недогрузкой», когда плановое рабочее время не достигает нормативного лимита, т.е. в рабочие дни оказывается меньше 6,5 ч, а в выходные – меньше 1ч. Недогруженный план содержит резерв времени, который может полностью или частично компенсировать дополнительные работы, включая их в разряд нормативных. Например, если в какой-то из будних дней плановый рабочий период составит 4 ч, то в резерве останется еще 2,5 ч нормативного рабочего времени. Предположим, что в этот день были сделаны сверхплановые работы общей продолжительностью 3,5 ч. Из них 2,5 ч заполнят собой нормативный резерв, который, таким образом, будет исчерпан, а оставшийся 1 ч будет отнесен к сверхнормативной работе.

Учитывая перспективу многолетнего использования МКС, мы изначально приняли для себя принцип поэтапного анализа полетного режима труда и отдыха (РТО) космонавтов. На 1-м этапе была выполнена оценка сверхнормативной занятости российских членов экипажей МКС-11, -13, -14 и -19/20–25/26 [2]. В данной работе представлены результаты 2-го этапа исследования, посвященного оценке сверхнормативной рабочей нагрузки членов экипажей МКС-26/27–39/40.

Методика

В процессе полетов МКС осуществляется ежедневный мониторинг РТО космонавтов. Эта работа выполняется экспертами по РТО, включенными в состав группы медицинского обеспечения (ГМО) Московского центра управления полетами (ЦУП-М). Используя данные радиопереговоров экипажа с представителями наземных служб, а также материалы группы текущего планирования ЦУП-М, эксперты собирают всю доступную информацию, имеющую отношение к РТО. Эта информация включает сведения о характере выполняемых работ, плановой и дополнительной (сверхплановой) рабочей нагрузке членов экипажей. Полученные результаты отражаются в еженедельных заключениях. В данном исследовании материалы таких заключений использовались для расчета объема сверхнормативных работ, выполненных российскими членами экипажей в рассматриваемых полетах.

Применительно к каждому полету рассчитывали общий (суммарный) объем сверхплановых работ, выполненных в ходе полета 3 российскими членами экипажа в рабочие дни. Далее вычисляли суммарную величину планового резерва и суммарную величину плановой сверхнормативной рабочей нагрузки за все рабочие дни полета. Затем из общего объема сверхплановой работы вычитали суммарную величину планового резерва и к полученной разности прибавляли суммарную величину плановой сверхнормативной работы. В итоге получали объем сверхнормативной работы, выполненной 3 космонавтами за все рабочие дни полета. На основе этого показателя путем его деления на число полетных недель, умноженное на 3, определяли среднюю величину сверхнормативной нагрузки 1 космонавта в сумме за все рабочие дни недели. Такие же расчеты выполняли для выходных дней, получая в результате среднюю величину сверхнормативной нагрузки 1 космонавта в сумме за все выходные дни недели. Обе конечные величины представляли усредненные количественные характеристики еженедельной сверхнормативной нагрузки 1 космонавта. Одна из них относилась к рабочим дням, другая – к выходным дням.

Все перечисленные показатели выражались в единицах времени.

Представленный аналитический подход формировался и совершенствовался на протяжении нескольких лет. Эта работа диктовалась необходимостью более широкого использования количественных характеристик РТО, в дополнение к его описательным качественным оценкам, которые еще на ранних этапах развития пилотируемой космонавтики были положены в основу анализа полетного материала.

Первоначальный вариант нового метода был использован в работе 2012 г. [2]. В текущем, более совершенном, виде мы применили его в данном исследовании.

Были проанализированы материалы 13 сдвоенных экспедиций на МКС, выполненных в 2011–2015 гг. (в составе каждой экспедиции на борту находились 3 российских космонавта). Данные совместной экспедиции МКС-28–29, состоявшейся в ноябре 2011 г. и продолжавшейся всего 1 нед, не учитывались.

Было рассмотрено 137 еженедельных заключений. Число заключений, принадлежавших каждому полету, варьировалось от 4 до 18, что соответствовало целому числу полетных недель, которое при исчислении в сутках могло быть меньше или больше реальной длительности полета, чаще всего на 2–4 сут (1-я и последняя недели иногда бывали неполными, т.е. по сути дела, условными; если они содержали 2–3 сут, то в процессе расчета их не учитывали, а если 4–6 сут – включали в расчет как полноценные, самостоятельные недели). Лишь в 2 полетах, в течение 103 и 123 сут, указанное несовпадение в сроках составило соответственно 5 и 11 сут с перевесом в пользу реальной продолжительности (в обоих случаях было «потеряно» по 1 нед из-за отсутствия информации).

Таблица 1

Временные характеристики объема сверхплановых работ, выполненных в каждом полете

№ экспедиций на МКС	Количество учтенных недель	Объем сверхплановых работ	
		В целом за полет	В расчете на 1 космонавта в неделю
26/27	7	110 ч 40 мин	5 ч 16 мин
27/28	14	116 ч 25 мин	2 ч 46 мин
29/30	18	449 ч 35 мин	8 ч 20 мин
30/31	7	48 ч 05 мин	2 ч 17 мин
31/32	9	74 ч 35 мин	2 ч 46 мин
32/33	4	19 ч 30 мин	1 ч 38 мин
33/34	13	76 ч 05 мин	1 ч 57 мин
34/35	7	53 ч 20 мин	2 ч 32 мин
35/36	15	185 ч 55 мин	4 ч 08 мин
36/37	6	92 ч 55 мин	5 ч 10 мин
37/38	16	121 ч 44 мин	2 ч 32 мин
38/39	7	147 ч 06 мин	7 ч 00 мин
39,40	14	174 ч 15 мин	4 ч 09 мин
В среднем за полет	10,5	128 ч 28 мин	3 ч 53 мин

Расчеты, выполненные на основе еженедельных заключений, не претендуют на высокую точность. В исходном материале данные, характеризующие фактические временные затраты на выполнение рабочих операций, порой приводятся довольно расплывчато и, может быть, не всегда в полном объеме. Тем не менее, как свидетельствует опыт использования такого подхода, эти расчеты позволяют составить общее представление о сверхнормативной занятости российских членов экипажей МКС.

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены данные о сверхплановой занятости космонавтов в каждом полете. Сверхплановые работы проводились еженедельно. Поэтому общий объем сверхплановых работ, выполненных 3 российскими членами экипажа, нарастал по мере продолжения полета и, следовательно, зависел от его длительности. Такая зависимость подтверждается значением коэффициента корреляции обеих величин, равным 0,692 ($p < 0,01$) и характеризующим степень их взаимной сопряженности как существенную [3].

Что касается сверхплановой нагрузки, рассчитанной на 1 космонавта в неделю, то здесь обращает на себя внимание высокая вариативность показателей, сильно различающихся от одного полета к другому. Судя по величине коэффициента корреляции (0,216), эти различия не могли быть связаны с разницей в длительности полетов. Возможно, объем сверхплановой нагрузки во многом зависел от личностных особенностей членов экипажей, от их готовности брать на себя дополнительную работу, которую они не обязаны выполнять. Канадский астронавт К. Хэдфилд, летавший в составе экипажей МКС-33/34 и -34/35, отметил: «На МКС нужно быть готовым добровольно и с радостью браться за любую работу, начиная с той, которая у всех на виду, и заканчивая какой-нибудь заменой кабеля антенны, просто потому, что больше эту работу сделать некому» [4].

Личное отношение человека к работе очень много значит. В рассмотренных полетах это особенно ярко проявилось в ходе экспедиции МКС-29/30, где был выполнен исключительно большой объем работ по Task List. Космонавты объяснили это тем, что работы по Task List они старались сделать в максимальном объеме, так как понимали, что ученые на Земле ждут новых результатов. В основном члены экипажа занимались поиском и фотографированием земных объектов. Работы по Task List они делали в любое время суток. Днем фотографировали, а вечером обрабатывали фотографии. Сами съемки продолжались недолго, а на обработку фотографий уходило много времени, поэтому спать ложились

Таблица 2

Часть сверхплановых работ, соответствующая емкости планового резерва

№ экспедиций на МКС	Отношение суммарного полетного резерва к общему объему сверхплановых работ, %
26/27	13
27/28	57
29/30	32
30/31	90
31/32	88
32/33	82
33/34	100
34/35	65
35/36	19
36/37	22
37/38	88
38/39	17
39/40	28
В среднем за полет	54

довольно поздно (с отставанием от графика на 2,5 ч, а иногда и на 4,5 ч). Можно предположить, что дело было не только в интеллектуальной оценке научной значимости этой деятельности, но и в ее эмоциональной окраске. Многие космонавты отмечали, что работы по Task List интересные, увлекательные и выполняются с удовольствием. Как заметил один из космонавтов, «в этих работах есть эмоциональное развлечение и разрядка».

В связи с вопросом о сверхплановой занятости нужно учитывать и особенности конкретной экспедиции. В сравнительно коротком (7 нед) полете МКС-38–39 обстоятельства сложились так, что экипажу пришлось потратить немало дополнительного времени на работы по связям с общественностью (видеосъемки приветствий по случаю Дня космонавтики и Дня Победы, общение со школьниками по телевидению и радио), а также на разгрузку и последующую загрузку 2 грузовых кораблей. Однако жалоб на чрезмерную загруженность космонавты ни в полетах, ни после полетов не предъявляли, ссылаясь на желание работать.

Величина планового резерва как и сверхплановая занятость варьировалась от полета к полету. Нас особенно интересовал вопрос, какая доля сверхпланового объема работ могла быть поглощена плановым резервом, иначе говоря, какую часть этого объема удалось бы отнести к зоне нормативной загрузки? Из табл. 2 следует, что только в 1 полете (МКС-33/34) плановый резерв позволил бы компенсировать всю внеплановую работу. В остальных полетах 100 %-ной компенсации резерв не обеспечивал, поэтому не вошедшая в него часть сверхплановых работ оказалась бы сверхнормативной. По данным, усредненным в рамках всей совокупности полетов, емкость планового резерва составила чуть больше 50 % от общего объема сверхплановой нагрузки.

Результаты расчета сверхнормативной занятости российских участников полетов приведены в табл. 3. Как видно, в полете МКС-33/34 космонавты сверхнормативных работ практически не выполняли. Все остальные полеты были отмечены сверхнормативными работами. В среднем каждый космонавт за 1 полетную неделю перерабатывал сверх норматива по 3,5 ч и, следовательно, за 1 полетный день – по 0,5 ч. Разумеется, реальные переработки в конкретных экспедициях могли быть и больше, и меньше. В ряде полетов сверхнормативная нагрузка 1 космонавта не превышала 2 ч в неделю (17 мин в день), в то время как в других случаях ее уровень достигал 5–6 ч в неделю (43–51 мин в день), а в полете МКС-26/27 превысил 7 ч в неделю (60 мин в день).

При сопоставлении данных, характеризующих средненедельный объем сверхплановой и сверхнормативной нагрузки 1 космонавта (3 ч 53 мин и 3 ч 36 мин соответственно, см. табл. 1, 3), обращает на себя внимание взаимная близость численных значений обоих показателей. Указанное сходство означает, что плановый резерв был почти целиком заполнен ресурсом сверхнормативного планирования.

Сверхнормативное планирование чаще всего было обусловлено:

– высокой операционной насыщенностью начального периода работы на МКС;
– выполнением операций стыковки и перестыковки пилотируемых и грузовых кораблей;
– подготовкой и проведением внекорабельной деятельности;
– выполнением работ по техническому обслуживанию систем станции и аппаратуры (профилактические и ремонтно-восстановительные работы);
– подготовкой к посадке (укладка оборудования и др.).

Эксперты по РТО, работающие в составе ГМО ЦУП-М, до сих пор считали, что планирование «с резервом» эффективно защищает от сверхнормативных нагрузок. Наши вычисления показали, что это не совсем так. В рассмотренных полетах резерв в основном поглощал только ту сверхнормативную часть рабочей нагрузки, которая была предусмотрена планом. В целом, не вдаваясь в подробности, можно сказать, что плановый резерв и плановая

Таблица 3

Объем сверхнормативных работ в расчете на 1 космонавта в неделю

№ экспедиций на МКС	Еженедельная сверхнормативная загрузка 1 космонавта		
	За рабочие дни	За выходные дни	За неделю в целом
26/27	3 ч 33 мин	3 ч 47 мин	7 ч 20 мин
27/28	1 ч 05 мин	47 мин	1 ч 52 мин
29/30	2 ч 59 мин	3 ч 18 мин	6 ч 17 мин
30/31	50 мин	20 мин	1 ч 10 мин
31/32	48 мин	28 мин	1 ч 16 мин
32/33	1 ч 34 мин	13 мин	1 ч 47 мин
33/34	38 мин	0 мин (резерв 28 мин)	10 мин
34/35	2 ч 11 мин	1 ч 10 мин	3 ч 21 мин
35/36	3 ч 03 мин	2 ч 39 мин	5 ч 42 мин
36/37	2 ч 10 мин	2 ч 37 мин	4 ч 47 мин
37/38	55 мин	51 мин	1 ч 46 мин
38/39	3 ч 25 мин	3 ч 24 мин	6 ч 49 мин
39/40	1 ч 51 мин	2 ч 12 мин	4 ч 03 мин
В среднем	1 ч 56 мин	1 ч 40 мин	3 ч 36 мин

сверхнормативная составляющая поглощали друг друга и, таким образом, планирование в среднем осуществлялось на уровне нормативного лимита, т.е. на уровне предельно допустимых нагрузок. Ясно, что при таком планировании любая сверхплановая работа неизбежно превращается в сверхнормативную. Отсюда следует, что «недогруженные» планы сами по себе еще не освобождают космонавтов от избыточных (сверхнормативных) рабочих нагрузок. На это можно надеяться только при достаточной емкости планового резерва в сочетании со сравнительно небольшим объемом сверхплановых работ и ограниченным использованием сверхнормативного планирования.

Как следует относиться к факту сверхнормативных работ? Для ответа на этот вопрос нужно, прежде всего, оценить сам норматив, точнее, понять, какими соображениями он продиктован.

Согласно действующему трудовому законодательству Российской Федерации, для работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, максимальная продолжительность рабочей недели не должна превышать 36 ч. Как уже было сказано, предельно допустимая нагрузка космонавта составляет 6,5 ч в рабочие дни и 1 ч в выходные. На этом основании продолжительность рабочей недели космонавта должна составлять не более 34,5 ч (32,5 ч за 5 будних дней плюс 2 ч за 2 выходных дня). Конечно, это немного меньше, чем 36 ч, но нужно учитывать, что труд всегда неразрывно связан с отдыхом. Для полноценной работы необходим полноценный отдых и, прежде всего, хороший сон как по качеству, так и по длительности. Между тем условия космического полета (КП) насыщены множеством стрессоров, главным из которых является обостренное чувство опасности, постоянно присутствующее если не в сознании, то в подсознании. Кроме того, в современных КП практикуются многочисленные сдвиги периода сна – как с опережением, так и с запаздыванием, – провоцирующие ухудшение сна. Эти 2 обстоятельства – стресс и сдвиги сна, – во-первых, не благоприятствуют полноценному сну и заставляют сомневаться в эффективности его восстановительной функции, а во-вторых, требуют мобилизации интеллектуальных усилий при выполнении деятельности и ускоряют развитие утомления. Такие обстоятельства оправдывают отступление от законодательных требований в сторону уменьшения норматива рабочей нагрузки космонавтов хотя бы до 34,5 ч в неделю.

Ежедневная переработка по 0,5 ч в день (средняя величина, в равной мере распространяющаяся как на рабочие, так и на выходные дни) добавляет 3,5 ч к общей продолжительности рабочей недели космонавта, которая возрастает до 38 ч. Этот показатель не учитывает уже ничего: ни ограничений, предусмотренных Трудовым кодексом, ни проблем со стрессами и сном, сопутствующих КП. К тому же для выполнения сверхнормативных работ приходится выкраивать дополнительное время, жертвуя отдыхом, физическими тренировками и в какой-то мере сном.

Все вышеизложенное означает, что практика сверхнормативных работ в полетах на МКС несомненно заслуживает негативной оценки. Это должны понимать не только медики, но и руководство полетами и сами космонавты. Пренебрежение медицинскими требованиями – это пренебрежение здоровьем и работоспособностью космонавтов и в конечном счете интересами дела, потому что, как было показано ранее [5], с увеличением полетной нагрузки растет количество ошибок, допускаемых членами экипажа при выполнении профессиональных операций. Соблюдение медицинских требований является необходимым условием обеспечения безопасности КП и успешного выполнения полетных программ.

Выводы

1. В полетах МКС-26/27–39/40 российские члены экипажей в абсолютном большинстве случаев работали с превышением нормативного лимита рабочего времени.
2. В среднем по всей группе полетов величина ежедневной сверхнормативной нагрузки в расчете на 1 космонавта составляла 0,5 ч, а в некоторых полетах достигала 50–60 мин. Сверхнормативная нагрузка была связана с выполнением как плановых, так и внеплановых работ.

Работа выполнена в соответствии с темой СЧ ОКР «МКС» (ИМБП).

Список литературы

1. *Степанова С.И., Карпова О.И., Галичий В.А. и др.* Режим труда и отдыха космонавтов в полетах Международной космической станции 22/23–39/40 // Авиакосм. и экол. мед. 2016. Т. 50. № 1. С. 7–12.

Stepanova S.I., Karpova O.I., Galichiy V.A. et al. Cosmonaut's inflight work–rest schedule aboard the International space station // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2016. V. 50. № 1. P. 7–12.

2. *Степанова С.И., Галичий В.А., Нестеров В.Ф. и др.* Актуальные вопросы организации труда и отдыха космонавтов в полетах на Международной космической станции // Там же. 2012. Т. 46. № 6. С. 14–18.

Stepanova S.I., Galichiy V.A., Nesterov V.F. et al. Actual problems of cosmonaut's work – rest organization aboard the International space station // Ibid. 2012. V. 46. № 6. P. 14–18.

3. *Каминский Л.С.* Статистическая обработка лабораторных и клинических данных. Л., 1964.

Kaminsky L.S. Statistical analysis of laboratory and clinical data. Leningrad, 1964.

4. *Хэдфилд К.* Руководство астронавта по жизни на Земле. М., 2016.

Hadfield Ch. An astronaut's guide to life on Earth. Moscow, 2016.

5. *Степанова С.И., Нестеров В.Ф., Сараев И.Ф. и др.* Организация труда и отдыха // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. М., 2001. С. 334-365.

Stepanova S.I., Galichiy V.A., Nesterov V.F. et al. Work–rest organization // Orbital station «Mir». Space biology and medicine. V. 1. Medical support of long duration flights. Moscow, 2001. P. 334-365.

Поступила 22.03.2016

EVALUATION OF OPERATIVE EMPLOYMENT OF RUSSIAN CREWMEMBERS OF THE INTERNATIONAL SPACE STATION (MISSIONS 26/27–39/40)

Stepanova S.I., Karpova O.I., Galichiy V.A., Nesterov V.F., Saraev I.F.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 1. P. 22–27

The article deals with estimation of operative employment of Russian crewmembers of the International space station (ISS) missions 26/27-39/40. Analysis was made of the weekly medical summaries issued by medical operators of the Moscow Mission control center (MCC-M) on the basis of daily monitoring of cosmonauts' work and rest schedule including specifics of planned and unplanned (excessive) operations and tasks and crew timeline. On the strength of the established maximal admissible workloads on week days and weekends, average excessive workloads were calculated per a crewmember over a week and flight day in each mission.

137 weekly summaries issued in 13 missions were reviewed. In 12 missions the Russian crewmembers exceeded the limit of working hours. For all missions the average daily, weekends included, overtime per a cosmonaut amounted to 30 minutes; in some missions overtime reached 50 to 60 minutes. The excessive workload was associated with implementation as of pre-planned, so unplanned operations.

Key words: unplanned workload, supernormal workload, planned reserve, supernormal planning.

УДК 358:159.9

ПРОФЕССИОНАЛЬНО ВАЖНЫЕ КАЧЕСТВА ОПЕРАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Солдатов С.К., Засядько К.И., Богомолов А.В., Вонаршенко А.П., Соломка А.В.

Центральный научно-исследовательский испытательный институт Военно-воздушных сил Минобороны России, Москва

E-mail: gniiivm-s@yandex.ru

В статье рассмотрены вопросы диагностики и развития профессионально важных качеств операторов управления воздушным движением на основе профессиографического анализа их деятельности. Целью работы являлось исследование связи развития профессионально важных качеств операторов управления воздушным движением с опытом работы и изучение возможностей целенаправленной тренировки этих качеств. Исследование проводилось с участием операторов управления воздушным движением, окончивших учебу, в возрасте 22–25 лет (15 человек), не имеющих опыта работы, и опытных операторов со стажем работы 8–10 лет, в возрасте 31–37 лет (11 человек), имеющих квалификацию специалистов 1-го класса. Профессиографический анализ деятельности проводился с помощью специально сформированного набора тестов, направленных на изучение профессионально важных качеств операторов, с последующей тренировкой (10 тренировок в течение 10 учебных дней) операторов без опыта работы во время прохождения планового цикла обучения. Проведенные исследования позволили определить профессионально важные качества, уровень которых достоверно повышался в результате специальных тренировок, и доказать возможность их развития с помощью цикла тренировок во время планового обучения.

Ключевые слова: профессионально важные качества, операторы управления воздушным движением, профессиональная надежность, тренировка профессионально важных качеств, профессиографический анализ.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 1. С. 28–32.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-28-32

Достижение профессионального мастерства при усложнении содержания и условий деятельности и его успешная реализация оказываются возможными только при достаточно высоком уровне развития у исполнителя – субъекта деятельности – определенных индивидуальных свойств, коррелирующих хотя бы с одним ее основным результативным показателем (качеством, производительностью, надежностью) и являющихся профессионально важными качествами (ПВК) [1–3]. Одним из итогов определения таких индивидуальных свойств явилось установление факта того, что любая деятельность реализуется на базе определенной системы ПВК. Это означает, что каждая деятельность требует определенной совокупности ПВК, являющейся не «механической» суммой качеств, а их закономерно организованной системой [4, 5]. При этом профессия оператора не только предъявляет определенные требования к субъекту деятельности, но и способствует выработке у него системы ПВК и их совершенствованию по мере освоения профессии [6, 7].

В связи с этим исследование динамики развития специальных способностей или ПВК операторов управления воздушным движением (УВД) необходимы для обоснования методов, способов и технологий обеспечения надежности их профессиональной деятельности [8, 9].

Целью исследования явилось исследование связи уровня развития ПВК у операторов УВД, определяющих эффективность их деятельности, с опытом работы и изучение возможности целенаправленной тренировки этих качеств, направленной на их развитие в период планового обучения (профессиональной подготовки).

Методика

Анализ деятельности операторов УВД показал, что общая структура их ПВК как главных субъектных детерминант деятельности оказывается достаточно сложной и внутренне дифференцированной. Она включает ряд основных ПВК, наличие которых и является основным условием эффективной реализации элементов профессиональной деятельности. Наиболее важными из них являются перцептивные действия (поиск, обнаружение цели, идентификация) и решение интеллектуальных задач (расчеты с формированием динамического оперативного образа воздушной обстановки) для принятия решения по эффективной организации воздушного движения в своей зоне ответственности [8–10].

Личностные и психофизиологические характеристики операторов УВД, определяющие развитие

основных ПВК, исследовались с помощью методик на автоматизированном рабочем месте специалиста профотбора [11, 12]. В совокупность («батарею») использованных тестов вошли методики, направленные на изучение восприятия, внимания, мышления, памяти и состояния личности как составляющих ряда профессионально важных качеств, характеризующих, прежде всего, способность к анализу (замечать мельчайшие детали, которые в условиях дефицита времени могут иметь решающее значение) и умение видеть сразу и целое, и все детали (синтез, соединенный с конкретностью мышления) [3, 13].

Батарея тестов включала следующие методики [14]:

– методика «Пространственная экстраполяция» для исследования восприятия и способности к оперированию пространственными представлениями путем мысленного представления;

– методика «Готовность к экстренному действию» для исследования внимания в условиях монотонно действующих факторов;

– методика «Избирательность» для исследования избирательности и помехоустойчивости внимания;

– методика «Распределение» для исследования способности удерживать в фокусе внимания несколько разнородных объектов (процессов) и (или) осуществлять одновременно несколько различных действий путем моделирования интенсивной совмещенной деятельности и тем самым оценивать особенности распределения ресурсов между конкурирующими задачами и предельные возможности обследуемого в переработке разнородной зрительной информации;

– методика «Пространственно-временная экстраполяция» для определения адекватности отражения динамических пространственно-временных отношений на уровне восприятия и представления, а также точности антиципирующих действий;

– перцептивно-когнитивная методика (S-тест) для исследования способности мышления к оперированию пространственными образами и темпа мыслительных операций;

– методика «Компасы» для исследования мышления, способности оперирования пространственными представлениями и сообразительности оператора;

– методика «Узоры» (тест на способность к образным представлениям) для исследования образного мышления;

– тест структуры интеллекта Амтхауэра (МИОМ) – субтест «Задание с кубиками» – для исследования способности к пространственному представлению, аналитических способностей и технико-конструктивных компонентов мышления;

– методика «Фигуры» для исследования памяти;

– комбинированная многофакторная методика «Припоминание порядкового номера числа» для определения объема кратковременной (оперативной) памяти, способности к удержанию, дифференцированной переработке и эффективному использованию в деятельности нескольких оперативных единиц информации.

Результаты и обсуждение

Все участвующие в экспериментах операторы УВД были разделены на 2 группы. В 1-ю группу (15 человек) вошли лица, только что закончившие учебу, без опыта работы, в возрасте 22–23 лет. Во 2-ю группу (11 человек) вошли опытные операторы, со стажем работы 8–10 лет, в возрасте 31–37 лет, имеющие квалификацию специалистов 1-го класса.

Результаты исследований представлены в таблице. Количественные оценки уровня развития ПВК в таблице представлены в нормированных и центрированных оценках 10-балльной равноинтервальной шкалы – стенах. Шкала стенов получена в результате перевода исходных оценок уровня развития ПВК в 10-балльную равноинтервальную шкалу путем разбиения оси значений исходных оценок на 10 интервалов, соответствующих долям стандартного отклонения, со средней точкой, которой соответствует значение 5,5 балла. Необходимость такого способа представления оценок уровня развития ПВК обусловлена необходимостью согласования оценок ПВК по тестам, стандартизованным разными способами.

Как следует из таблицы, результаты обследования операторов с использованием 9 из 11 методик заметно (разность между группами превышала 1 стен) отличаются в обеих группах. Оценка полученных данных даже в тех методиках, результаты которых укладывались в одну градацию, например, по методике «Пространственная экстраполяция», позволила выявить достоверно более высокие средние значения показателей по критериям «скорость принятия решения» и «эффективная дальность» у специалистов 1-го класса, чем у операторов без опыта практической работы. Это означало, что более опытные операторы УВД способны быстрее оценивать окружающую обстановку и принимать важные решения в стрессовых ситуациях и прогнозировать дальнейший ход событий.

При анализе показателей оценки готовности к экстренному действию выявлено, что группа специалистов 1-го класса по всем критериям методики («эффективность», «скорость реакции», «точность», «стабильность») показала результат «выше среднего». При этом операторы без опыта работы по первым 3 критериям показали средний результат, а по критерию «скорость реакции» результат был ниже среднего. Следовательно, по мере приобретения опыта и навыков работы у операторов

Таблица

Уровни развития ПВК у операторов управления воздушным движением

№	Тест	Показатель	Без опыта и класса		Специалисты 1-го класса	
			Стены	Уровень ПВК	Стены	Уровень ПВК
1	Пространственная экстраполяция	Эффективная дальность.	5,3	Средний	6,0	Средний
		Скорость принятия решения.	5,6	Средний	6,5	Средний
2	Готовность к экстренному действию	Эффективность.	5,7	Средний	7,5	Выше среднего
		Скорость реакции.	4,2	Ниже среднего	7,3	Выше среднего
		Точность.	5,5	Средний	7,4	Выше среднего
		Стабильность.	5,1	Средний	7,5	Выше среднего
3	Избирательность	Эффективность.	5,5	Средний	5,6	Средний
		Скорость реакции.	5,5	Средний	5,6	Средний
		Стабильность.	5,0	Средний	6,3	Средний
4	Распределение	Распределяемость.	4,8	Ниже среднего	6,0	Средний
		Пропускная способность.	4,0	Ниже среднего	8,0	Выше среднего
		Частотная характеристика.	3,3	Низкий	6,8	Средний
		Точность слежения.	6,7	Средний	8,0	Высокий
5	Пространственно-временная экстраполяция	Точность.	5,3	Средний	7,2	Выше среднего
		Стабильность.	5,3	Средний	7,3	Выше среднего
		Возбуждение.	4,8	Ниже среднего	6,0	Средний
		Тренд по точности.	5,6	Средний	6,7	Средний
6	S-тест	Точность.	7,5	Выше среднего	8,0	Высокий
		Скорость.	7,5	Выше среднего	8,1	Высокий
		Стабильность.	7,0	Выше среднего	8,0	Высокий
7	Компасы	Эффективность.	5,8	Средний	7,3	Выше среднего
		Скорость реакции.	6,1	Средний	7,4	Выше среднего
		Точность.	6,0	Средний	7,2	Выше среднего
		Стабильность.	5,6	Средний	6,7	Средний
8	Узоры	Точность.	6,1	Средний	6,7	Средний
		Скорость.	9,5	Высокий	9,8	Высокий
		Стабильность.	5,5	Средний	7,0	Выше среднего
9	Задание с кубиками	Точность.	5,0	Средний	6,0	Средний
		Скорость.	6,0	Средний	7,3	Выше среднего
		Стабильность.	5,5	Средний	6,0	Средний
10	Фигуры	Точность.	6,7	Средний	7,0	Выше среднего
		Скорость.	9,5	Высокий	9,8	Высокий
		Стабильность.	7,2	Выше среднего	7,5	Выше среднего
11	Припоминание порядкового номера числа	Эффективность.	5,9	Средний	7,0	Выше среднего
		Скорость реакции.	4,9	Низкий	5,1	Средний
		Точность.	6,1	Средний	7,4	Выше среднего
		Стабильность.	5,5	Средний	7,8	Выше среднего

вырабатывается устойчивость и умение действовать безошибочно в экстремальных ситуациях, способность принимать эффективные решения в условиях дефицита времени.

Результаты, полученные при диагностике мышления, показали, что у специалистов 1-го класса отмечалась более высокая скорость переработки полученной информации, лучше развита способность к абстрактно-логическому мышлению, на что указывают большие значения стенов по критериям «точность», «скорость» и «стабильность».

Анализ результатов исследования способности оперирования пространственными представлениями показал, что операторы, имеющие опыт работы, намного лучше справляются с заданиями, требующими оперирования пространственными представлениями.

На основании полученных данных можно заключить, что у операторов УВД, имеющих опыт работы и более высокую профессиональную квалификацию, достоверно выше уровень развития таких ПВК, как собранность, скорость восприятия и переработки

получаемой информации, способность принимать решения в стрессовых ситуациях в условиях дефицита времени, ответственность и интеллект.

Вместе с тем исследование показало, что ряд ПВК не связан с опытом работы операторов и различий в уровне их развития в сравниваемых группах операторов выявлено не было. Это касается результатов оценки избирательности внимания по критериям «эффективность», «скорость реакции» и «стабильность», памяти по критериям «точность», «скорость» и «стабильность» и способности работать, не отвлекаясь на внешние посторонние раздражители.

Полученные данные позволили определить набор из 9 методик для последующего изучения возможности их использования в лабораторных условиях для тренировки тех ПВК, уровень развития которых возрастает по мере повышения профессионального мастерства операторов УВД.

С целью изучения возможности целенаправленного совершенствования ПВК у операторов УВД без опыта работы во время прохождения ими планового цикла обучения были проведены тренировки по соответствующим тестовым методикам. Каждый испытуемый ежедневно в течение 10 учебных дней выполнил 10 тренировок по каждой из методик, влияющей на определенное ПВК.

По результатам проведения цикла тренировок выявлена тенденция к увеличению значений стенов по многим показателям. По таким показателям, как скорость реакции («Готовность к экстренному действию»), распределяемость, пропускная способность, частотная характеристика, точность слежения («Распределение»), точность и скорость реакции («Припоминание порядкового номера числа») уровень ПВК заметно повышался, что свидетельствовало о возможности тренировки основных ПВК операторов УВД.

Выводы

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что опытные операторы УВД характеризовались более высокой выраженностью ПВК, а именно хорошей оперативной памятью, высокой способностью пространственных представлений и пространственно-временной экстраполяции, умением правильно распределять ресурсы между различными задачами и высокими возможностями в переработке разнородной зрительной информации. Были определены ПВК операторов УВД, уровень которых заметно повышался в результате специальных тренировок. Показана возможность развития и совершенствования у операторов УВД во время прохождения ими плановой программы обучения указанных ПВК путем проведения цикла тренировок по предложенным методикам с использованием штатного автоматизированного рабочего места специалиста профотбора.

Список литературы

1. *Шадриков В.Д.* Проблемы профессиональных способностей // Психол. журн. Т. 3. № 5. 1982. С. 13–26.

Shadrikov V.D. Problems of professional abilities // Psikhologicheskiy zhurnal. V. 3. № 5. 1982. P. 13–26.

2. *Покровский Б.Л.* Системе профессионального психологического отбора в Военно-воздушных силах – 50 лет // Воен.-мед. журн. 2014. Т. 335. № 8. С. 81–87.

Pokrovskiy B.L. The system of professional psychological selection in the Air Force – 50 years // Voenno–meditsinskiy zhurnal. 2014. V. 335. № 8. P. 81–87.

3. *Жданько И.М., Запечникова И.В.* Психолого–педагогические методы развития профессионально важных качеств летчика // Там же. 2013. Т. 334. № 1. С. 54–55.

Zhdan'ko I.M., Zapechnikova I.V. Psycho-pedagogical methods of professional important qualities of the pilot // Ibid. 2013. V. 334. № 1. P. 54–55.

4. *Бодров В.А.* Психологические исследования проблемы профессионализации личности. М., 1991.

Bodrov V.A. Psychological studies problems of professionalization of the individual. Moscow, 1991.

5. *Малышева Е.В., Гулин А.В., Засядько К.И.* Оптимальные режимы труда лиц экстремальных профессий // Вестн. Тамб. унив. Серия Естественные и технические науки. 2013. Т. 18. № 4–1. С. 1345–1347.

Malysheva E.V., Gulin A.V., Zasyad'ko K.I. Optimal labor regimes for persons of extreme professions // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2013. V. 18. № 4–1. P. 1345–1347.

6. *Гандер Д.В.* Личностно-ориентированный подход в психологическом обеспечении авиационной безопасности // Проблемы безопасности полетов. 2012. № 5. С. 36–40.

Gander D.V. Person-oriented approach in psychological ensuring of aviation safety // Problemy bezopasnosti poletov. 2012. № 5. P. 36–40.

7. *Ворона А.А.* Психофизиологические составляющие профессиональной надежности летчика и методы их диагностики // Человек в авиации и безопасность полетов. М., 1998. С. 87–88.

Vorona A.A. Psychophysiological components of occupational competence of pilot and the methods of their diagnosis // Person in aviation and safe aviation. Moscow, 1998. P. 87–88.

8. *Вельмисов И.А.* Некоторые подходы к определению функциональной надежности специалистов управления воздушным движением // Прикладная математика и механика (Ульяновск). 2009. № 8. С. 45–54.

Vel'misov I.A. Some approaches to the definition of the functional reliability of air traffic control specialists // Prikladnaya matematika i mekhanika (Ul'yanovsk). 2009. № 8. P. 45–54.

9. *Юшкова Е.О.* Порядок подготовки специалистов управления воздушным движением в учебных заведениях // Проблемы педагогики. 2015. № 8 (9). С. 37–39.

Yushkova E.O. The procedure for training of air traffic control specialists in educational institutions // Problemy pedagogiki. 2015. № 8 (9). P. 37–39.

10. *Рева А.Н., Дмитриев С.А., Селезнев Г.Н.* Факторы принятия решений авиадиспетчером в процессе управления воздушным движением // Вісник Національного авіаційного університету. 2009. Т. 1. № 38. С. 13–19.

Reva A.N., Dmitriev S.A., Seleznev G.N. Factors of decision making of an air traffic controller in the process of air traffic control // Visnik Natsional'nogo aviatsiynogo universitetu. 2009. V. 1. № 38. P. 13–19.

11. *Ушаков И.Б., Пономаренко В.А., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В.* Автоматизированные системы для контроля состояния специалистов опасных профессий // Безопасность жизнедеятельности (приложение). 2005. № 10. 24 с.

Ushakov I.B., Ponomarenko V.A., Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V. Automated systems for control of hazardous occupations professionals // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti (prilozhenie). 2005. № 10. 24 p.

12. *Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А.* Паттерны функциональных состояний оператора. М., 2010.

Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Patterns of functional conditions of the operator. Moscow, 2010.

13. *Ворона А.А., Герасименко В.Д., Козловский Э.А. и др.* Медико-психологическое прогнозирование профессиональной готовности выпускника военно–учебного заведения // Воен.-мед. журн. 2012. Т. 333. № 1. С. 40–44.

Vorona A.A., Gerasimenko V.D., Kozlovskiy E.A. et al. Medical and psychological forecasting of professional aptitude of a military school graduate // Voenno-meditsinskiy zhurnal. 2012. V. 333. № 1. P. 40–44.

14. *Бодров В.А.* Психология профессиональной пригодности. М., 2001.

Bodrov V.A. Psychology of professional aptitude. Moscow, 2001.

Поступила 19.10.2016

PROFESSIONALLY IMPORTANT SKILLS OF AIR TRAFFIC CONTROLLERS

Soldatov S.K., Zasyad'ko K.I., Bogomolov A.V., Vonarshenko A.P., Solomka A.V.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 1. P. 28–32.

The paper deals with diagnostics and development of core air traffic controllers' (ATCs) skills based on job analysis. The aim was to assess how professional skills are related to experience, and to explore learning opportunities. Subjects were 15 graduates of an ATC school (aged 22–25 yrs.) w/o experience and 11 first-class operators with 8 to 10 years of experience (aged 31–37 yrs.). The program included professiogram analysis using a specially crafted skill tests battery followed by 10 training sessions for inexperienced ATCs within 10 school days tied up to regular refresher training. The study pinpointed the core skills that were improved significantly by the training and benefits of refresher training for honing these skills.

Key words: professional skills, air traffic controller, job quality, training of core skills, professiogram analysis.

УДК 613.693+612.46

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ 12-ЧАСОВОЙ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ НА БЕЛКОВЫЙ СОСТАВ МОЧИ ЧЕЛОВЕКА

Воронцов А.Л., Степанова Г.П., Маркин А.А., Смирнова Т.А., Дегтеренкова Н.В., Степанова К.Ю., Погожев А.А.

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

E-mail: gallog15@mail.ru

В эксперименте с 12-часовой антиортостатической гипокинезией (АНОГ) с углом наклона -15° относительно горизонта, у 7 мужчин в возрасте от 22 до 31 года исследовали экскрецию общего белка и белковый состав мочи. Белки разделяли электрофоретически в полиакриламидном геле, для чего использовали оригинальную модификацию метода. В полученной уропротеинограмме при сравнении с фоном обнаружено достоверное уменьшение процентного содержания альбумина и белков с молекулярной массой (ММ) >69 кДа (гломерулярный компонент). Результаты исследования экскреции общего белка позволили заключить, что 12-часовая АНОГ -15° не привела к изменениям, выходящим за пределы физиологической нормы.

Ключевые слова: антиортостатическая гипокинезия, белковый состав мочи, электрофорез белков мочи, альбумин, гломерулярный компонент.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 1. С. 33–36.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-33-36

Одним из основных факторов космического полета (КП), реакция на который эволюционно не отработана, является микрогравитация [1]. Для поддержания гомеостаза активируются компенсаторные механизмы, что является естественным ответом организма на невесомость. В отсутствие силы тяжести происходит перераспределение жидких сред организма в краниальном направлении, возникают сдвиги в гемодинамике, включается волюморегулирующий рефлекс Генри – Гауэра [2], уменьшается активность гормонов ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, катехоламинов, увеличивается продукция натрийуретического фактора (натрийуретический пептид), секретируемого в предсердиях, усиливается диурез, часть жидкости переходит в интерстициальный компартмент [3–6]. В результате перечисленных адаптивных реакций развивается гиповолемия, снижается содержание как внеклеточной, так и внутриклеточной жидкости, что инструментально доказано с помощью биоимпедансометрии в экспериментах «Спрут» на Международной космической станции [4]. Почки поддерживают водно-электролитное равновесие и участвуют в регуляции гемодинамики, поэтому являются эффекторным органом перераспределения жидких сред организма, обусловленного микрогравитацией [7]. В КП и в наземных экспериментах с АНОГ были обнаружены увеличение размеров и объема почек, что свидетельствует о повышенной нагрузке на орган [2].

Изменения белкового состава мочи различны на разных этапах адаптации организма к микрогравитации, что требует более детального изучения [7–10].

Общепринятым биоматериалом для оценки работы почек является моча [7, 11, 12]. Крайняя ограниченность возможностей сбора суточной мочи во время КП обусловила необходимость исследования воздействия факторов КП на функционирование почек в наземных экспериментах.

Цель работы – исследование белкового состава мочи, полученной в эксперименте с 12-часовой АНОГ, которая моделирует первые часы воздействия микрогравитации [13].

Работа проведена как дополнение к ранее выполненным исследованиям белкового состава мочи испытателей в наземных экспериментах с 5- и 7-суточной «сухой» иммерсией [9, 10].

Методика

В эксперименте с 12-часовой АНОГ -15° были обследованы 7 испытателей мужского пола в возрасте от 22 лет до 31 года. Мочу собирали в течение 12 ч, предшествующих гипокинезии для получения фоновых значений, и 12 ч во время эксперимента. Для разделения белков была применена собственная оригинальная модификация [14] метода полунативного электрофореза белков в полиакриламидном геле [15]. Использованная нами модификация метода позволяет получать результаты с высоким разрешением, достаточным для оценки белкового спектра мочи при нормо- и микропротеинуриях [14]. Преимущество этой модификации заключается в

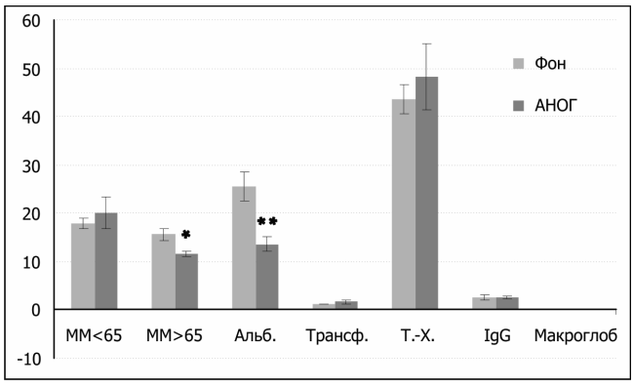

Рис. 1. Белковые фракции мочи в % от общего белка. * – достоверное различие с фоном p < 0,05; ** – достоверное различие с фоном p < 0,01

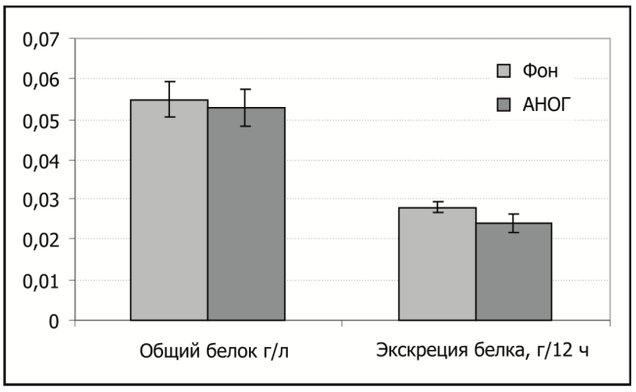

Рис. 2. Концентрация и полусуточная экскреция белка мочи

том, что не требуется концентрировать мочу и, таким образом, можно избежать потери и видоизменения белков в процессе концентрирования [10, 14].

Белки при разделении в геле выстраиваются в близком соответствии с их молекулярными массами. Полученные группы фракций объединяли в оценочно значимые участки уропротеинограммы для дифференциальной оценки работы основных отделов нефрона (клубочки и канальцевый аппарат) следующим образом: белки с молекулярной массой (ММ) < 65 кДа (тубулярный компонент) и белки с ММ > 69 кДа (гломерулярный компонент), также отдельно определяли количество альбумина (Альб.), трансферрина (Трансф.), белка Тамма – Хорсвала (Т. – Х.), иммуноглобулинов класса G (IgG) и белков с ММ от 180 до 400 кДа – макроглобулинов (Макроглоб.). Конечные величины, характеризующие интересующие нас фракции, фиксировали в виде процентных долей от содержания общего белка [9]. Концентрацию общего белка измеряли пирогаллоловым методом с использованием коммерческого набора «Белок-ПГК-Ново» производства фирмы «Вектор-Бест» (Россия).

Результаты и обсуждение

Выявлено достоверное снижение процентного содержания альбумина (p < 0,01) и гломерулярного компонента (p < 0,05) относительно фоновых значений. Достоверного изменения долей тубулярного компонента, трансферрина, иммуноглобулинов класса G не обнаружено (рис. 1). Доля макроглобулинов находится в пределах фоновой ошибки метода, что характерно для отсутствия патологии почек. Достоверных изменений концентрации и полусуточной экскреции общего белка не выявлено (рис. 2).

Гломерулярный фильтр является специфическим физиологическим барьером для белков сыворотки крови, молекулярная масса которых больше, чем у альбумина. Эти белки объединяют под названием «гломерулярный компонент», что отражает их общее свойство попадать в мочу в увеличенном количестве при нарушении барьерных функций гломерулярного фильтра. Обнаруженное достоверное снижение процентного содержания гломерулярного компонента свидетельствует о меньшей степени проникновения этих белков сквозь гломерулярный фильтр и, вероятнее всего, является следствием уменьшения гидростатического давления в кровеносных сосудах почечных клубочков (гломерул), вызванного перераспределением жидких сред и изменением гемодинамики в условиях АНОГ. Большая часть белков с молекулярными массами меньше альбумина проходит сквозь гломерулярный фильтр и попадает в первичную мочу, специфическим механизмом сохранения этих белков в организме является реабсорбция в проксимальных канальцах (тубулах) почек, поэтому их объединяют под названием «тубулярный компонент». Альбумин обладает промежуточными свойствами, в случае нормальной физиологии он частично задерживается гломерулярным фильтром, а те количества, которые попадают в первичную мочу, реабсорбируются в канальцах. Поэтому достоверное снижение процентного содержания альбумина теоретически может быть вызвано как снижением степени фильтрации сквозь гломерулярный фильтр, так и увеличением степени реабсорбции в канальцах. Однако косвенно можно предположить, что ведущим механизмом снижения процентного содержания альбумина было снижение степени его прохождения сквозь гломерулярный фильтр, потому что уменьшения процентного содержания тубулярного компонента обнаружено не было, т.е. активации процесса реабсорбции не наблюдалось.

В источниках литературы имеются данные о снижении экскреции альбумина с мочой, зафиксированные в условиях КП и в наземном эксперименте с 12-суточной АНОГ при угле наклона -6° [10, 14].

Используемый нами метод позволяет получить достаточно полную картину сдвигов белкового состава мочи, связанных с изменением функции определенных отделов почек и мочевыводящих путей при воздействии реальных или моделируемых факторов КП.

Принимая во внимание отсутствие достоверных изменений концентрации и полусуточной экскреции общего белка, можно сделать заключение, что обнаруженные изменения белкового спектра мочи являются сдвигами в пределах физиологической нормы.

Список литературы

1. *Газенко О.Г., Григорьев А.И., Егоров А.Д.* Реакции организма человека в космическом полете. Физиологические проблемы невесомости. М., 1990.

Gazenko O.G., Grigoriev A.I., Egorov A.D. The reactions of the human body in space flight. Physiological problems of weightlessness. Moscow, 1990.

2. *Атьков О.Ю., Бедненко А.С.* Гипокинезия. Невесомость. Клинические и физиологические аспекты. М., 1989.

At'kov O.Yu., Bednenko A.S. Hypokinesia. Weightlessness. Clinical and physiological aspects. Moscow, 1989.

3. *Моруков Б.В., Носков В.Б., Ларина И.М. и др.* Водно-солевой обмен и функция почек в космических полетах и наземных модельных экспериментах // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2003. Т. 89. №3. С. 356–367.

Morukov B.V., Noskov V.B., Larina I.M. et al. Water-salt metabolism and kidney function in space missions and ground-based simulation experiments // Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal imeni I.M. Sechenova. 2003. V. 89. №3. P. 356–367.

4. *Носков В.Б., Ничипорук И.А., Григорьев А.И.* Динамика жидкостных сред и состава тела в условиях длительного космического полета (биоимпедансный анализ) // Авиакосм. и экол. мед. 2007. Т. 41. № 3. С. 3–7.

Noskov V.B., Nichiporuk I.A., Grigoriev A.I. Dynamics of liquid media and body composition in conditions of prolonged space flight (bioimpedance analysis) // Aviakosmicheskaya i ehkologicheskaya meditsina. 2007. V. 41. № 3. P. 3–7.

5. *Носков В.Б.* Перераспределение жидких сред организма в условиях невесомости и моделирующих ее воздействий // Там же. 2011. Т. 45. № 1. С. 17–26.

Noskov V.B. Redistribution of body fluids in weightlessness and simulating its effects // Ibid. 2011. V. 45. № 1. P. 17–26.

6. *Ларина И.М., Суханов Ю.В., Лакота Н.Г.* Механизмы ранних реакций водно-электролитного обмена у человека в различных наземных моделях эффектов микрогравитации // Там же. 1999. Т. 33. № 4. С. 17–23.

Larina I.M., Sukhanov Yu.V, Lakota N.G. Mechanisms of early reactions of water and electrolyte metabolism in humans in a variety of ground-based microgravity effects models // Ibid. 1999. V. 33. № 4. P. 17–23.

7. *Носков В.Б., Ларина И.М., Пастушкова Л.Х. и др.* Функционирование почек и состояние жидкостных сред организма человека в условиях 5-суточной иммерсии // Там же. 2011. Т. 45. № 6. С. 22–26.

Noskov V.B., Larina I.M., Pastushkova L.Kh. et al. Kidney function and the state of liquid environments of the human body in a 5-day immersion // Ibid. 2011. V. 45. № 6. P. 22–26.

8. *Газенко О.Г., Григорьев А.И., Наточин Ю.В.* Водно-солевой гомеостаз и космический полет // Проблемы космической биологии. М., 1986.

Gazenko O.G., Grigoriev A.I., Natochin Yu.V. Water-salt homeostasis and spaceflight // Problems of space biology. Moscow, 1986.

9. *Воронцов А.Л., Нестеровская А.Ю., Моруков Б.В. и др.* Белковый состав мочи у человека в условиях 5-суточной иммерсии // Авиакосм. и экол. мед. 2011. Т. 45. № 6. С. 18.

Vorontsov A.L., Nesterovskaya A.Yu., Morukov B.V. et al. The protein composition in human urine in a 5-day immersion // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina 2011. V. 45. № 6. P. 18.

10. *Нестеровская А.Ю., Моруков Б.В., Воронцов А.Л. и др.* Исследование воздействия 7-суточной иммерсии на экскреторную функцию почек // Там же. 2008. Т. 42. № 5. С. 52–56.

Nesterovskaya A.Yu., Morukov B.V., Vorontsov A.L. et al. Study the impact of 7-day immersion in the excretory function of the kidneys // Ibid. 2008. V. 42. № 5. P. 52–56.

11. *Cirillo M., Stellato D., Heer M. et al.* Urinary albumin in head-down bed rest // J. Gravit. Physiol. 2002. V. 9. № 1. P. 195–196.

12. *Cirillo M., De Santo N.G., Heer M. et al.* Low urinary albumin excretion in astronauts during space missions // Nephron. Physiol. 2003. V. 93. № 4. P. 102–105.

13. *Ничипорук И.А., Ларина И.М., Носков В.Б. и др.* Изменения жидкостных сред и водно-солевого обмена в условиях антиортостатической гипокинезии и пассивных постуральных проб при разных уровнях гидратации организма // Мат. Междунар. конф. «Медико-биологические аспекты действия физических факторов». Минск, 2006. С. 247–249.

Nichiporuk I.A., Larina I.M., Noskov V.B. et al. Changes in liquid environments and water-salt metabolism in the conditions antiorthostatic hypokinesia and postural passive sampling at different levels of the body's hydration // Proc. of the International conference «Medical and biological aspects of the action of physical factors». Minsk, 2006. P. 247–249.

14. *Нестеровская А.Ю., Воронцов А.Л., Потапова Л.А.* Использование метода электрофореза белков нативной мочи в дифференциальной диагностике нефропатий // VI съезд науч. общества нефрологов России: Сборник тезисов. М., 2005. С. 230–231.

Nesterovskaya A.Yu., Vorontsov A.L., Potapova L.A. The use of protein electrophoresis of native urine in the differential diagnosis of nephropathy // VI Congress of Nephrologists' Scientific Society of Russia. Abstracts. Moscow, 2005. P. 230–231.

15. *Ornstein L.* Disc Electrophoresis-I. Background and Theory // Ann. N. J. Acad. Sci. 1964. V. 121. P. 321–332.

Поступила 23.09.2016

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF 12-HOUR BED REST ON PROTEIN CONTENT OF HUMAN URINE

Vorontsov A.L., Stepanova G.P., Markin A.A., Smirnova T.A., Degterenkova N.V., Stepanova K.Yu.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 1. P. 33–36

In an experiment with 12-hour bed rest (BR, -15°) the total protein and protein profile of urine were determined in 7 male subjects at the age of 22 to 31 years. Proteins were separated using a modification of polyacrylamide gel electrophoresis. Comparison of the experimental and baseline profiles of urine protein showed significant decreases in percent of albumin and proteins with molecular mass (MM) >69 kDa (glomerular component). The results of measuring total protein excretion lead us to the conclusion that 12-hour BR at -15° did not cause escape of the parameter from the physiological norm limits.

Key words: bed rest, urine protein profile, electrophoresis of urine proteins, albumin, glomerular component.

УДК 613.693+37.084.2

ВЛИЯНИЕ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОГО ВЫВЕШИВАНИЯ НА АКТИВНОСТЬ, АДАПТАЦИЮ К НОВОЙ СРЕДЕ, ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ И ОБМЕН МОНОАМИНОВ В МОЗГЕ МЫШЕЙ

Лебедева-Георгиевская К.Б.[1], Матвеева М.И.[1], Базян А.С.[1, 2], Кудрин В.С.[1, 3], Наркевич В.Б.[1, 3], Перевезенцев А.А.[1], Штемберг А.С.[1]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва
[2]Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва
[3]Научно-исследовательский институт фармакологии им. В.В. Закусова РАМН, Москва

E-mail: andrei_shtemberg@mail.ru

Исследовали влияние 30-суточного антиортостатического вывешивания (АнОВ) на адаптивное поведение животных в новой среде, а также на обмен моноаминов в структурах мозга, в процессе восстановления через 2 нед после предпринятых воздействий. Тестирование животных в «открытом поле» показало, что в результате воздействия АнОВ происходит сдвиг эмоционально-мотивационной основы поведения мышей в сторону снижения ориентировочно-исследовательской активности и возрастания тревожности и пассивно-оборонительного поведения. Изучение ориентировочно-исследовательского поведения мышей, адаптации к новой обстановке и пространственной ориентации в экспериментальной установке IntelliCage выявило достоверное снижение ориентировочно-исследовательской активности и возрастание стереотипного поведения, что позволяет говорить о снижении пластичности нервных процессов у животных в результате воздействия АнОВ. Анализ содержания моноаминов в исследованных структурах мозга (префронтальной коре, гипоталамусе, стриатуме и гиппокампе) не выявил значимых отличий. Введение предшественника дофамина (ДА) мадопара однозначно увеличивало концентрацию ДА и его метаболитов – 3,4-диоксифенилуксусной кислоты (ДОФУК), гомованилиновой кислоты ГВК и 3-метокситирамина 3-МТ.

Ключевые слова: поведение, мыши, адаптация, антиортостатическое вывешивание, IntelliCage.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 1. С. 37–43.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-37-43

За почти 50-летний период работы Института медико-биологических проблем был накоплен огромный материал по воздействию факторов космического полета, в частности, основного из них – невесомости на организм. Обширные экспериментальные данные были получены как в полетных и наземных экспериментах с участием человека (космонавтов и добровольцев-испытателей), так и в модельных экспериментах на животных. Основное внимание в этих исследованиях уделялось вестибулярной, костной, мышечной, сердечно-сосудистой, в несколько меньшей степени иммунной системам. В то же время вопросы воздействия гипогравитации на функциональные реакции центральной нервной системы (ЦНС) и, в частности, высшую нервную деятельность (ВНД), к сожалению, до сих пор остаются недостаточно изученными. Достаточно упомянуть, что в работах, подводящих итоги многолетних биологических исследований на беспилотных космических аппаратах, среди разделов, посвященных изучению различных функциональных систем животных в условиях космического полета, раздел о ЦНС отсутствует [1, 2].

Работ, посвященных нейробиологическим эффектам воздействия гипогравитации, сравнительно немного. К примеру, существуют данные, что в ответ на моделируемую микрогравитацию происходит окислительный дисбаланс в гипоталамусе [3]. Также неоднократно показано воздействие моделируемой в лабораторных условиях микрогравитации на высшую нервную деятельность [4–7]. Исследование влияния антиортостатического вывешивания (АнОВ) и перегрузки на дискриминантное обучение мышей и концентрацию моноаминов и их метаболитов в некоторых структурах мозга выявило определенное ускорение формирования двигательного поведенческого стереотипа, лежащего в основе дискриминантного пищевого обучения. Исследования концентрации моноаминов и их метаболитов в префронтальной коре, гипоталамусе, стриатуме и мозжечке выявили значительную интенсификацию метаболизма серотонина, в отличие от таковой катехоламинов [6].

Как известно, АнОВ является основной моделью, воспроизводящей некоторые эффекты гипогравитации в наземных экспериментах на мелких лабораторных животных [4, 7, 8]. Одним из факторов, также воздействующих на поведение животных в условиях таких экспериментов, является временная изоляция [4].

В данном исследовании мы попытались выяснить, какое влияние оказывает АнОВ на адаптивное поведение животных в новой среде, а также на обмен моноаминов в структурах мозга, в процессе восстановления через 2 нед после предпринятых воздействий. Выбранные структуры мозга принимают активное участие в реализации поведения и моторного контроля и формируют эмоциональные и мотивационные состояния. Префронтальная кора, прилежащее ядро, гипоталамус и гиппокамп управляют поведением животных через модификацию активности норадренергической (НА), дофаминергической (ДА) и серотонинергической (СТ) систем. Стриатум осуществляет моторный контроль, реализует сложное поведение, получая глутаматергическую синаптическую информацию от коры, интегрирует ее, запускает таламокортикальные сети через globus pallidus и выводит обработанную и интегрированную информацию на моторную кору, которая напрямую реализует поведение. Процесс интеграции информации в стриатуме находится под контролем нигростриатной ДА-системы. Моноаминергические НА-, ДА- и СТ-системы – это модуляторные системы, т.е. системы управления ГАМК и глутаматергической синаптической передачей и, следовательно, системы управления поведением.

В некоторых случаях, в нейрохимических исследованиях, когда предпринятые воздействия не вызывают достоверных изменений, дается некая нагрузка на системы, которая может выявить скрытые изменения. В данной работе мышам вводили препарат, усиливающий синтез катехоламинов – мадопар.

Методика

Экспериментальные животные

Мыши линии C57BL/6, самцы, массой 20-25 г, были случайным образом разделены на 2 группы (контрольная и экспериментальная) по 10 животных в каждой. За неделю до начала исследований всем животным под местной анестезией были внедрены транспондером в холку идентификационные чипы системы IntelliCage. Животные содержались в клетках по группам, со свободным доступом к еде и питью.

Воздействие

В качестве воздействия для экспериментальной группы было выбрано 30-суточное АнОВ. При создании АнОВ использовали индивидуальные секции из оргстекла. Животных вывешивали за основание хвоста с помощью специальной втулки под углом 30–40° с расчетом снятия статической нагрузки с задних конечностей. При этом мышей крепили с помощью специальных карабинов, надевающихся на металлический стержень, так, чтобы они могли свободно перемещаться в пределах клетки.

Через 2 нед после прекращения экспериментальных воздействий мышей групп, предназначенных для нейрохимических исследований, декапитировали и выделяли следующие структуры мозга: префронтальную кору, гиппокамп, гипоталамус и стриатум. Другой части мышей из этого эксперимента, контрольной группе и группе АнОВ за 1,5 ч перед декапитацией внутрибрюшинно вводили мадопар (содержащий предшественник ДА леводопа + ингибитор периферических декарбоксилаз – бенсеразид, 1 фасовка мадопара содержит 100 мг леводопа + 25 мг бенсеразида, F. Hoffmann-La Roche Ltd, Basel, Switzerland), в дозе 25 мг/кг леводопа, в объеме 150 мкл.

Выделенные структуры мозга взвешивали и гомогенизировали в 20-кратном объеме 0,1 Н $HClO_4$ содержащей 0,1 % метабисульфита K^+ и внутренний стандарт ДГБА (3,4-дигидрооксибензиламин, Sigma, США) с конечным содержанием 20 нг/мл. Гомогенаты центрифугировали 10 мин при 15 000 g. Супернатант фильтровали центрифугированием через нейлоновые микрофильтры (диаметр фильтров 0,8 мм, диаметр пор 0,2 мкм), избавляясь от белков. 50 мкл фильтрата вводили через инжектор в хроматографическую колонку.

Для хроматографического определения количества адреналина (А), норадреналина (НА), дофамина (ДА), серотонина (СТ) и их метаболитов: метаболитов ДА – 3,4-диоксифенилуксусной кислоты (ДОФУК), гомованилиновой кислоты (ГВК) и 3-метокситирамина (3-МТ), метаболита СТ – 5-оксииндолуксусной кислоты (5-ОИУК). Для разделения этих веществ использовали колонку для обратно-фазовой хроматографии – Dr. Maisch, Peprosil-Pur, C-18, 3 x 150 мм, диаметр частиц 3 мкм. Мобильная фаза: 0,1 М лимонно-фосфатный буфер, содержащий 0,27 мМ ЭДТА, 300 мг/л октилсульфата Na^+ и 9 % ацетонитрила (pH 3,2), электрохимическое детектирование проводили при + 0,72 V.

Результаты были представлены в виде средних величин и ошибки средней арифметической для плазмы крови и стандартного отклонения для структур мозга. Для статистического анализа применяли непарный t-критерий Стьюдента. Статистически значимым результатом считали величину $p < 0,05$.

Исследование поведения и адаптации

С каждой группой животных был проведен тест «открытое поле» (ОП): для контрольной группы сразу, для экспериментальной группы после АнОВ. В ОП фиксировались следующие параметры: латентный период (время начала движения животного после посадки в центр); горизонтальная двигательная активность (число пройденных квадратов); исследовательская активность (число заглядываний в норы); число стоек (вертикальная двигательная активность); число выходов в центральный квадрат, а

также число уринаций и дефекаций. Время тестирования – 5 мин, данные оценивались независимо по 2 временным интервалам: первые 2,5 мин и вторые 2,5 мин.

Затем животных помещали в систему IntelliCage, состоящую из 2 клеток (по 5 животных в каждой), где в течение 4 сут происходила адаптация к новым условиям. Прибор IntelliCage, разработанный компанией TSE (Германия), предназначен для автоматического сбора и анализа данных о поведении и обучении мелких лабораторных животных. В каждом углу клетки располагается норка с 2 поилками, доступ к которым преграждает пластмассовая шторка, управляемая программой. Над каждой поилкой находится панель, оснащенная температурными датчиками присутствия, датчиками, считывающими идентификационный номер чипа, датчиком nosepoke, который реагирует на попытку животного дотянуться до поилки; кроме того, на самой поилке также располагаются датчики, сообщающие информацию о количестве и продолжительности питьевых актов. Животное имеет постоянный доступ к питанию и воде. На протяжении всего эксперимента все поилки были открыты, что сделало углы равноценными. Животные в течение 4 сут постоянно находились в клетке без участия экспериментатора. После адаптации в системе Intellicage в течение 4 сут в течение 2 нед происходило обучение в этой же системе по следующей парадигме: первоначально правильной становилась поилка № 1 для всех животных, после достижения критерия обученности 60 % правильной становилась кормушка, находящаяся справа, относительно предыдущей, таким образом проходил круг смены поилок.

Данная парадигма выбрана для определения способностей животных решения задачи на различных семантических уровнях. Так окончательным решением задачи будет считаться предвосхищение правильной поилки, т.е. поиск правильной поилки чаще справа после переключения значимости поилки. Декапитацию животных и анализ нейрохимических показателей проводили после окончания обучения. Целью данной работы являлся анализ периода адаптации, в связи с чем полные данные результатов обучения не приводятся. Однако следует заметить, что животные обеих групп освоились в среде и привыкли к изменению правильности поилок, но предвосхищения поиска правильных поилок не было отмечено ни в одной группе. Достоверных различий и интересных результатов за период обучения получено не было.

По результатам тестирования в ОП были посчитаны средние значения и построены гистограммы для сравнения результатов как за разные промежутки времени, так и между группами.

Данные, полученные в результате тестирования поведения животных в системе IntelliCage, были

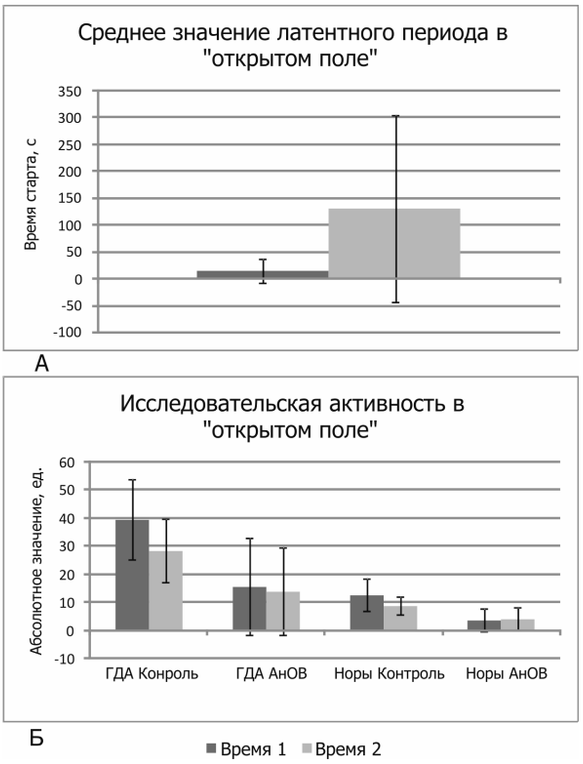

Рис. 1. Результаты открытого поля.
А – сравнение средних значений латентного периода для групп контроль и АнОВ, время старта, с; Б – сравнение средних значений горизонтальной двигательной активности (ГДА) ($p < 0,05$) и среднего числа заглядываний в норы ($p < 0,01$) для групп контроль и АнОВ по 2 диапазоном времени, абсолютное число значений, единицы

разделены на 3 группы – за 1-е, 2-е сутки и за весь период адаптации (4 сут).

Сравнение проводилось как внутри каждой группы за выбранные промежутки времени, так и между 2 группами. Анализировались следующие параметры: длительность лизания, тычка носом и визита; общее число лизаний, тычков носом и визитов; предпочтения углов (в каком углу больший процент времени за анализируемый период проводило животное) по лизаниям, тычкам носам и визитам. Для оценки равномерности длительности и числа поведенческих актов за 1-е и 2-е сутки была проведена оценка того, какой процент составляют эти величины от значения за весь период и усреднены по группе.

Значения предпочтений выражаются процентами для каждого животного и для каждого угла таким образом: чем ближе одна из величин к 100 %, тем в большей степени животное предпочитает один угол всем остальным, и чем ближе все значения к 25 %, тем более равномерны его предпочтения углов. Для статистической оценки предпочтений углов с этими данными были произведены

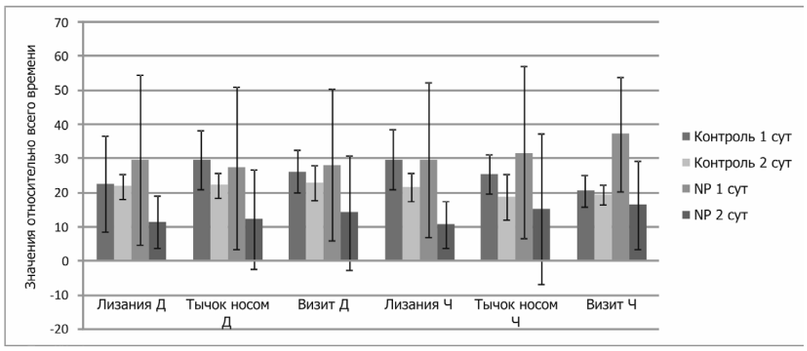

Рис. 2. Группы контроля и АнОВ. Сравнение вклада в общее число поведенческих актов за 1-е и 2-е сутки, средние значения длительности (Д) и абсолютное число (Ч)

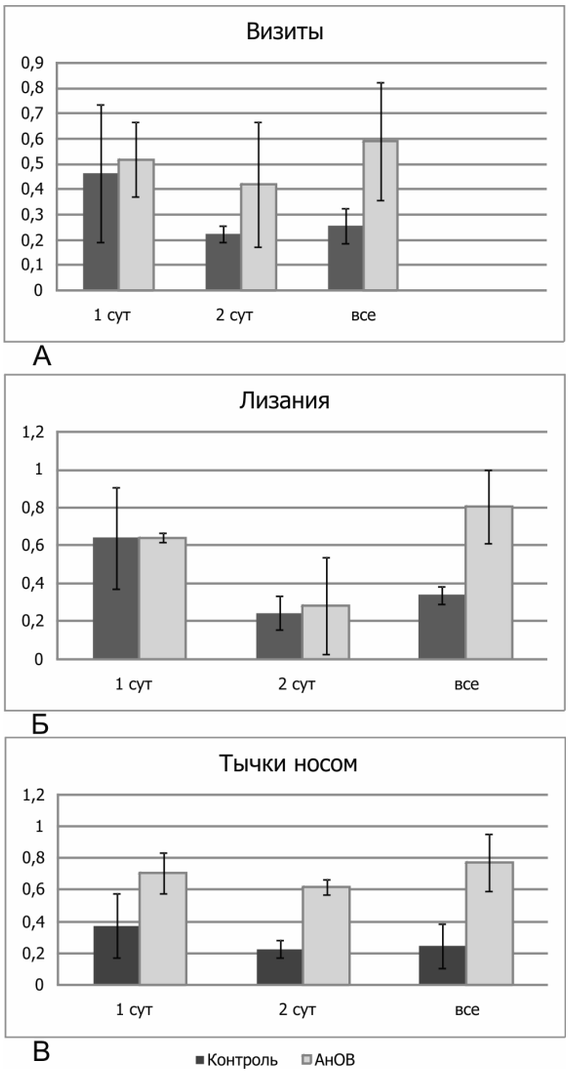

Рис. 3. Сравнение предпочтений для групп контроля и АнОВ в 1-е, 2-е сутки и за весь период адаптации.
Шкала «Y» приведена к единице и представляет собой процентное соотношение – чем ближе значение к единице, тем более равномерными были предпочтения. Акты: А – лизания; Б – тычки носом; В – визиты; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$

следующие преобразования: считали, насколько по модулю отличается каждое значение от 25 складывали эти отличия и получали условную величину, характеризующую стереотипность поведения мыши: чем она больше, тем более стереотипно поведении (посещает только 1 угол из 4); чем она меньше, тем более равномерно посещение углов. Для наглядности построения графиков шкала приведена к 1, где 0 – равное посещение всех углов (стереотипность отсутствует); 1 – выбор исключительно 1 угла (максимальная стереотипность поведения).

Полученные значения усреднялись по каждой группе и сравнивались по суткам между контрольной и экспериментальной группами.

Математическая обработка проводилась с помощью программ Excel и Statistica 6; для сравнения достоверности различий использовались критерии Манна – Уитни и Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Поведенческие исследования

Исследование поведения животных экспериментальных групп в ОП в целом свидетельствовало о снижении активных компонентов поведения и возрастании тревожности и пассивно-оборонительного поведения.

Так, наблюдалось значительное возрастание (более чем в 10 раз) латентного периода выхода из центра ОП (рис. 1, А), снижение двигательной (см. рис. 1, Б), и ориентировочно-исследовательской активности (см. рис. 1, Б) мышей, подвергнутых воздействию АнОВ. Кроме этого, у животных экспериментальных групп было нарушено нормальное угасание исследовательского поведения в процессе тестирования (см. рис. 1, Б). О возрастании тревожности и пассивно-оборонительного поведения у этих животных свидетельствует также достоверное снижение числа выходов в центр ОП.

Таким образом, в результате воздействия АнОВ происходит сдвиг эмоционально-мотивационной основы поведения мышей в сторону снижения ориентировочно-исследовательской активности и возрастания тревожности и пассивно-оборонительного поведения, что согласуется с данными предыдущих исследований [7]. Сходные результаты наблюдали после других стрессорных воздействий [8–12].

В процессе адаптации все животные освоились в среде IntelliCage, о чем свидетельствует посещение всех углов за время эксперимента мышами обеих групп. В целом за весь промежуток времени у мышей экспериментальной группы происходило достоверное ($p < 0,01$) снижение исследовательской

Таблица 1

Концентрация моноаминов и их метаболитов в префронтальной коре мозга мышей (M ± S.E.M., нмоль/г ткани)

Группы животных	НА	ДОФУК	ДА	5 ОИУК	ГВК	3-МТ	5-НТ
Контроль (n = 5)	0,77 ± 0,04	0,06 ± 0,02	0,14 ± 0,01	0,91 ± 0,05	0,22 ± 0,03	0,02 ± 0,005	3,10 ± 0,16
АнОВ (n = 5)	0,69 ± 0,06	0,04 ± 0,008	0,11 ± 0,009	1,01 ± 0,06	0,21 ± 0,01	0,01 ± 0,002	2,94 ± 0,21
Контроль + мадопар (n = 5)	1,37 ± 0,24	3,69 ± 0,72	2,14 ± 0,61	0,99 ± 0,05	1,22 ± 0,23	0,72 ± 0,015	2,90 ± 0,16
АнОВ + мадопар (n = 5)	1,49 ± 0,26	3,54 ± 0,86	2,11 ± 0,009	1,31 ± 0,06	1,21 ± 0,21	0,71 ± 0,012	2,74 ± 0,21
Р1 к 2*	0,224	0,504	0,005	0,211	0,723	0,458	0,147
Р3 к 1	0,133	0,001	0,004	0,449	0,009	0,042	0,137
Р4 к 2	0,124	0,001	0,07	0,176	0,021	0,032	0,259
Р4 к 3	0,690	0,669	0,593	0,852	0,259	0,104	0,983

Таблица 2

Концентрация моноаминов и их метаболитов в гиппокампе мышей (M ± S.E.M., нмоль/г ткани)

Группы животных	НА	ДОФУК	ДА	5 ОИУК	ГВК	3-МТ	5-НТ
Контроль (n = 5)	0,81 ± 0,05	0,09 ± 0,03	0,49 ± 0,22	2,40 ± 0,21	0,14 ± 0,04	0,05 ± 0,03	2,54 ± 0,24
АнОВ (n = 5)	0,84 ± 0,11	0,11 ± 0,04	0,50 ± 0,24	2,48 ± 0,33	0,18 ± 0,05	0,04 ± 0,02	2,72 ± 0,46
Контроль + мадопар (n = 5)	1,01 ± 0,17	1,05 ± 0,31	2,37 ± 0,53	2,84 ± 0,37	1,14 ± 0,23	0,83 ± 0,011	2,55 ± 0,54
АнОВ + мадопар (n = 5)	1,14 ± 0,21	1,11 ± 0,44	2,24 ± 0,64	2,78 ± 0,33	1,81 ± 0,35	0,88 ± 0,12	2,46 ± 0,54
Р1 к 2	0,762	0,746	0,987	0,820	0,585	0,823	0,720
Р3 к 1	0,143	0,037	0,009	0,282	0,007	0,006	0,981
Р4 к 2	0,123	0,009	0,011	0,329	0,008	0,007	0,234
Р4 к 3	0,849	0,201	0,897	0,486	0,561	0,608	0,823

активности, оцениваемое по числу визитов, тычков носом и лизаний ($p < 0,05$ для длительности визитов), что выражается в снижении значений всех этих параметров. Для оценки изменения исследовательской активности мышей обеих групп в течение адаптации были построены усредненные гистограммы их процентного соотношения за 1-е и 2-е сутки для числа реакций и длительности значений следующих параметров: визиты, тычки носом и лизания (рис. 2). У мышей контрольной группы, несмотря на наличие некоторой тенденции к угасанию активности ко 2-м суткам, различия в активности на 1-е и 2-е сутки периода адаптации были недостоверны. У животных же экспериментальной группы происходило значительное снижение активности по показателям общего числа визитов, тычков носом и лизаний на 2-е сутки по сравнению с 1-ми ($p < 0,05$ по критериям Стьюдента и Манна – Уитни). Общие тенденции изменения длительности параметров по дням сохранялись, длительность актов уменьшалась, за редким исключением (достоверность в зоне неопределенности). Случаи возрастания длительности поведенческих актов на 2-е сутки были единичны и связаны с индивидуальными особенностями особей. Таким образом, исследовательская активность мышей контрольной группы была достаточно равномерной в течение всего времени адаптации, в то время как у экспериментальной группы она значительно снижалась на 2-е сутки. Снижение исследовательской активности животных может быть расценено как реакция на стресс [13]; кроме того, можно предположить, что поведение животных экспериментальной группы было более импульсивно.

Анализ предпочтений углов необходим для определения стратегии, которые выбирают животные при исследовании нового пространства. Поскольку перед животными стояла задача адаптации к условиям среды и все углы были равнозначны, были возможны 2 крайних стратегии: посещение только 1 угла или же примерно равное посещение всех 4 углов. Математические преобразования описаны выше, результаты приведены к 1. Полученные значения усреднялись по каждой группе и сравнивались по суткам между контрольной и экспериментальной группами. Средние значения предпочтений сравнивались за первые 2 сут и за весь промежуток времени. На основании этих данных (рис. 3) можно сделать вывод, что мыши экспериментальной группы достоверно чаще выбирали одну поилку, в то

Таблица 3

Концентрация моноаминов и их метаболитов в гипоталамусе мозга мышей (M ± S.E.M., нмоль/г ткани)

Группы животных	НА	ДОФУК	ДА	5 ОИУК	ГВК	3-МТ	5-НТ
Контроль (n = 5)	2,49 ± 0,08	0,42 ± 0,03	2,06 ± 0,36	2,78 ± 0,26	0,61 ± 0,08	0,03 ± 0,004	4,72 ± 0,37
АнОВ (n = 5)	2,67 ± 0,15	0,46 ± 0,07	1,82 ± 0,26	3,37 ± 0,41	0,81 ± 0,10	0,05 ± 0,02	4,87 ± 0,53
Контроль + мадопар (n = 5)	2,92 ± 0,36	1,38 ± 0,37	3,50 ± 0,58	3,89 ± 0,52	1,62 ± 0,31	0,92 ± 0,07	4,47 ± 0,56
АнОВ + L–ДОФА (n = 5)	2,76 ± 0,15	1,55 ± 0,37	3,82 ± 0,56	3,01 ± 0,41	2,01 ± 0,40	0,99 ± 0,08	4,62 ± 0,53
P1 к 2	0,908	0,550	0,324	0,047	0,908	0,130	0,710
P3 к 1	0,219	0,005	0,003	0,218	0,013	0,014	0,354
P4 к 2	0,118	0,005	0,002	0,346	0,021	0,025	0,234
P4 к 3	0,687	0,410	0,414	0,438	0,218	0,093	0,623

Таблица 4

Концентрация моноаминов и их метаболитов в стриатуме мозга мышей (M ± S.E.M., пмоль/г ткани)

Группы животных	НА	ДОФУК	ДА	5 ОИУК	ГВК	3-МТ	5-НТ
Контроль (n = 5)	0,27 ± 0,02	3,04 ± 0,16	49,56 ± 2,52	2,40 ± 0,07	4,48 ± 0,19	0,89 ± 0,10	2,85 ± 0,12
АнОВ (n = 5)	0,35 ± 0,08	3,51 ± 0,36	51,27 ± 3,90	2,58 ± 0,26	5,22 ± 0,55	0,98 ± 0,09	2,97 ± 0,34
Контроль + мадопар (n = 5)	0,37 ± 0,05	3,99 ± 0,31	72,52 ± 3,20	2,70 ± 0,34	7,40 ± 0,44	1,84 ± 0,05	2,88 ± 0,20
АнОВ + L–ДОФА (n = 5)	0,48 ± 0,18	4,23 ± 0,46	84,18 ± 3,20	2,36 ± 0,24	8,74 ± 0,47	2,09 ± 0,19	2,99 ± 0,35
P1 к 2	0,270	0,163	0,116	0,114	0,843	0,707	0,925
P3 к 1	0,149	0,046	0,023	0,120	0,039	0,05	-
P4 к 2	0,167	0,034	0,012	0,256	0,027	0,15	0,717
P4 к 3	0,863	0,196	0,125	0,785	0,290	0,239	0,832

время как в контрольной группе они не имели таких четких предпочтений и чаще чередовали поилки.

Таким образом, можно говорить о снижении пластичности нервных процессов и возрастании стереотипного поведения у животных в результате воздействия АнОВ. Поскольку стереотипное поведение напрямую связано с дофаминергической системой, о чем свидетельствует появление стереотипии после введения амфетамина [14, 15], можно предположить изменения и в биохимии головного мозга, однако анализ содержания моноаминов в исследованных структурах (префронтальной коре, гипоталамусе, стриатуме и гиппокампе) не выявил значимых различий.

Введение предшественника ДА мадопара однозначно увеличивало концентрацию ДА и его метаболитов – ДОФУК, ГВК и 3-МТ (табл. 1–4).

Выводы

1. В результате воздействия АнОВ происходит сдвиг эмоционально-мотивационной основы поведения мышей в сторону снижения ориентировочно-исследовательской активности и возрастания тревожности и пассивно-оборонительного поведения.

2. В период адаптации к экспериментальной ситуации IntelliCage у мышей, подвергнутых 30-суточному АнОВ, происходило достоверное снижение двигательной и исследовательской активности при содержании в группе.

3. 30-суточное АнОВ приводит к снижению пластичности нервных процессов и возрастанию стереотипии поведения.

4. Через 2 нед после воздействия АнОВ не происходит существенных изменений в метаболизме моноаминов в изученных структурах мозга мышей. Введение предшественника ДА мадопара увеличивает концентрацию ДА и его метаболитов – ДОФУК, ГВК и 3-МТ.

Работа выполнена в рамках темы РАН № 65.2 и при финансовой поддержке грантов РФФИ, проекты № 15-04-003569-а и № 15-04-02005-а.

Список литературы

1. *Ильин Е.А.* Программа «Бион» - от прошлого к будущему // Авиакосм. и экол. мед. 2008. Т. 42. № 6. С. 45-57.

Ilyin E.A. «Bion» program – from past to future // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.

2. *Ильин Е.А.* Биология в полетах беспилотных космических аппаратов: Актовая речь. ГНЦ РФ – ИМБП РАН. М., 2007.

Ilyin E.A. Biology in the flights of unmanned space apparatus: Commencement address. IBMP RAS. Moscow, 2007.

3. *Steru L., Chermat R., Thierry B., Simon P.* The tail suspension test: a new method for screening antidepressants in mice // Psychopharmacol. (Berl.). 1985. V. 5. P. 326–357.

4. *Штемберг А.С.* Комбинированное действие антиортостатической гиподинамии и гамма-облучения на высшую нервную деятельность крыс // Авиакосм. и экол. мед. 1992. Т. 26. № 4. С. 64–67.

Shtemberg A.S. The combined influence of antiorthostatic hypodinamia and gamma-irradiation on the higher nervous activity of rats // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 1992. V. 26. № 4. P. 64–67.

5. *Штемберг А.С.* Комбинированное действие гипокинезии разной продолжительности и гамма-облучения на высшую нервную деятельность крыс // Там же. 1997. Т. 31. № 5. С. 70–75.

Shtemberg A.S. The combined effects of different duration hypokinesia and gamma-irradiation on the higher nervous activity of rats // Ibid. 1997. V. 31. № 5. P. 70–75.

6. *Штемберг А.С., Кудрин В.С., Клодт П.М. и др.* Влияние антиортостатической гиподинамии и перегрузки на дискриминантное обучение и обмен моноаминов в структурах мозга мышей // Нейрохимия. 2012. Т. 29. № 4. С. 318–326.

Shtemberg A.S., Kudrin V.S., Klodt P.M. et al. The influence of antiorthostatic hypodinamia and G-force on the discrimination learning and monoamines metabolism in the mice brain structures // Neurokhimiya. 2012. V. 29. № 4. P. 318–326.

7. *Штемберг А.С., Лебедева-Георгиевская К.Б., Матвеева М.И. и др.* Влияние факторов космического полета, моделируемых в наземных условиях, на поведение, дискриминантное обучение и обмен моноаминов в различных структурах мозга крыс // Изв. РАН. Серия биологическая. 2014. № 2. С. 168–175.

Shtemberg A.S., Lebedeva-Georgievskaya K.B., Matveeva M.I. et al. The influence of the spaceflight factors modeling in the ground conditions on the behavior, discrimination learning and monoamines metabolism in different rats' brain structures // Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya. 2014. № 2. P. 168–175.

8. *Chang C.Y., Guo H.R., Tsai W.C. et al.* Subchronic arsenic exposure induces anxiety-like behaviors in normal mice and enhances depression-like behaviors in the chemically induced mouse model of depression // Biomed. Res. Int. 2015. № 10. P. 234–237.

9. *Cryan J., Mombereau C., Vassout A.* The tail suspension test as a model for assessing antidepressant activity: review of pharmacological and genetic studies in mice // Neurosci. Biobehav. Rev. 2005. № 29. P. 571–625.

10. *Cryan J., Mombereau C.* In search of a depressed mouse: utility of models for studying depression-related behavior in genetically modified mice // Molecular Psychiatry. 2004. V. 9. № 4. P. 326–357.

11. *Endo T., Maekawa F., Voikar V. et al.* Automated test of behavioral flexibility in mice using a behavioral sequencing task in IntelliCage // Behav. Brain Res. 2011. V. 221. P. 172–181.

12. *Sarkar P., Sarkar S., Ramesh V. et al.* Proteomic analysis of mouse hypothalamus under simulated microgravity // Neurochem. Res. 2008. V. 33. № 11. P. 2335–2341.

13. *Krackow S., Vannoni E., Codita A. et al.* Consistent behavioral phenotype differences between inbred mouse strains in the IntelliCage // Genes Brain Behav. 2010. V. 9. P. 722–731.

14. *Figueira F.H., Leal C.Q., Reis Ede M. et al.* Effects of diphenyl diselenide on behavioral and biochemical changes induced by amphetamine in mice // Neural. Transm. (Vienna). 2015. V. 122. № 2. P. 201–209.

15. *Jensen M., Ratner C., Rudenko O. et al.* Anxiolytic-like effects of increased ghrelin receptor signaling in the amygdala // Int. J. Neuropsychopharmacol. 2015. V. 19. № 5. P. 123.

Поступила 22.07.2016

EFFECT OF TAIL-SUSPENSION ON THE ACTIVITY, ENVIRONMENTAL ADAPTATION, EXPLORATORY BEHAVIOR AND MONOAMINE TURNOVER IN THE BRAIN OF MICE

Lebedeva-Georgievskaya K.B., Matveeva M.I., Bazian A.S., Kudrin V.S., Narkevich V.B., Perevezentsev A.A., Shtemberg A.S.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 1. P. 37–43

A 30-day tail-suspension of mice was conducted to study the adaptive behavior of animals and monoamine turnover in brain structures during 2 weeks of ensuing recovery. The open-field test showed that due to suspension the mice shifted their emotions and motivated behavior from the orientative-exploratory activity to increased anxiety and passive defensive behavior. Observation of the orientative-exploratory behavior, environmental adaptation and spatial orientation within the IntelliCage witnessed a significant decline of the orientative-exploratory activity and, on the contrary, strengthening of stereotyped behavior. This suggests a decay of neuroplasticity in tail-suspended animals. Analysis of monoamines in the prefrontal cortex, hypothalamus, striatum and hippocampus failed to reveal large differences. Injection of a dopamine precursor (madopar) raised definitely concentrations of dopamine and its metabolites 3,4-hydroxyphenylacetic acid, homovanillic acid and 3-methoxytyramine.

Key words: behavior, mice, adaptation, tail-suspension, IntelliCage.

УДК 611.817.11+616-091.8+577

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛЕТОК ПУРКИНЬЕ КОРЫ МОЗЖЕЧКА КРЫС ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ УГЛЕРОДА ^{12}C

Северюхин Ю.С.[1, 3], Буденная Н.Н.[1], Тимошенко Г.Н.[1], Иванов А.А.[1, 2, 3], Красавин Е.А.[1]

[1]Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна
[2]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва
[3]Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна, Москва

E-mail: yucucumber@mail.ru

Исследование воздействия тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ), входящих в состав галактического космического излучения, на центральную нервную систему (ЦНС) космонавтов является важной задачей при оценке радиационного риска межпланетных полетов. В рамках модельного эксперимента, проведенного на базе Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ), были изучены цитологические эффекты, возникающие в мозжечке крыс под действием тяжелых ионов углерода ^{12}C с энергией 500 МэВ/нуклон.

Воздействие ТЗЧ на организм животного привело к существенному увеличению относительного числа деструктивно измененных нейронов в коре мозжечка. Динамика формирования морфологических изменений указывает на наличие более выраженных радиационных эффектов в ЦНС при облучении тяжелыми ионами.

Ключевые слова: мозжечок, клетки Пуркинье, нейрон, тяжелые заряженные частицы, космическое излучение.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 1. С. 44–48.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-44-48

В ходе пилотируемых межпланетных полетов высокую опасность для экипажей кораблей могут представлять тяжелые заряженные частицы (ТЗЧ), входящие в состав галактического космического излучения (ГКИ). Диапазон энергий частиц, приходящих из глубин галактики, крайне широк и простирается до сверхвысоких энергий порядка 10^{20} эВ.

Обеспечить защиту организма от их повреждающего действия методами физической защиты в ближайшей перспективе не представляется возможным. Специфический характер передачи энергии тяжелыми ионами при прохождении через ткани организма обусловливает совершенно иной тип радиационного воздействия ГКИ на организм в условиях полета в дальнем космосе. Это обстоятельство может определять развитие радиационных синдромов, принципиально отличных от наблюдаемых при действии редко ионизирующих космических излучений (например, протонов высоких энергий), что необходимо учитывать при оценке радиационного риска для космонавтов в условиях полета вне магнитосферы Земли.

При оценке риска радиационного воздействия тяжелых ядер ГКИ в ходе межпланетной миссии необходимо иметь в виду возможное формирование нарушений со стороны центральной нервной системы (ЦНС) космонавтов. В экспериментах по облучению лабораторных животных высокоэнергетичными ионами (ядрами железа, кислорода, титана) в дозах, соответствующих реальным потокам галактических ядер при полете к Марсу, выявляются различные нарушения со стороны ЦНС [1–3]. Они проявляются в выраженных нарушениях пространственной ориентации, угнетении когнитивных функций, морфологических изменениях корковых структур.

Наличие риска подобных нарушений операторской деятельности космонавтов будет связано с угрозой для их жизни непосредственно в процессе полета [4].

Необходимо учитывать, что для развития дегенеративно-дистрофических, атрофических и некробиотических процессов в головном мозге требуется определенное время после воздействия ионизирующих излучений [5]. Наблюдаемые изменения в нейронах в период 1 и 3 мес после радиационного воздействия ТЗЧ, свидетельствуют о существовании определенных особенностей в сравнении с γ-излучением [5, 6]. В материалах приведенных исследований отмечаются различия в степени формирования нарушений в головном мозге крыс в указанные периоды. Наблюдение подобной динамики представляет особый интерес для космической биологии и дает возможность более точной оценки радиационного риска при воздействии ГКИ.

Изучать морфологические нарушения в нейронах экспериментальных животных и проводить их количественную оценку при действии ионизирующих излучений удобно на тканях мозжечка [7–9]. Мозжечок является структурой головного мозга, определяющей координацию движений, мышечный

Таблица

Количество клеток Пуркинье в коре мозжечка крыс на 30-е и 90-е сутки после облучения в различных экспериментальных группах (M ± m %)

Время после облучения, сут	Группы животных	Количество животных	Значение показателей, %		
			1-я группа нейронов	2-я группа нейронов	3-я группа нейронов
30-е	Контроль	4	67,7 ± 2,6	28,1 ± 2,7[1]	4,2 ± 1,4
	Облученные γ-излучением	5	54,3 ± 6,3	35,8 ± 6,1[1]	9,9 ± 0,4*,[1]
	Облученные ионами углерода ^{12}C	5	49,2 ± 3,1	34,6 ± 2,8*	16,2 ± 2,3**,[1]
90-е	Контроль	4	75,5 ± 1,0	20 ± 2,0	4,5 ± 1,6
	Облученные γ-излучением	4	71,0 ± 3,2	24,1 ± 3,2	4,9 ± 0,8
	Облученные ионами углерода ^{12}C	5	61,8 ± 2,3	30,3 ± 1,5**	7,9 ± 1,0**

Примечание. * – различия достоверны по отношению к контролю; ** – различия достоверны в сравнении с контрольной группой и группой γ-облучения; [1] – различия достоверны между аналогичными показателями на 90-е сутки; $p < 0,05$.

тонус, участвующей в формировании моторной памяти, реализации когнитивных функций [10, 11]. Клетки Пуркинье на гистологических препаратах представлены в виде «цепочки» отдельных нейронов, повторяющей контуры извилин коры мозжечка. Они являются крупными эфферентными нейронами, выполняющими интегративные функции между мозжечком и другими структурами мозга [12] и могут быть объектом для изучения радиационных цитологических эффектов в нейронах.

Целью исследования являлось изучение морфологических изменений клеток Пуркинье коры мозжечка крыс при действии ускоренных ионов углерода. Как известно, ионы группы углерода с энергией 300–500 МэВ/нуклон наиболее широко представлены в интегральном потоке тяжелых ядер ГКИ. С учетом этого представляется важным изучить нейроцитологические эффекты этой группы ТЗЧ.

Методика

Лабораторные животные. В эксперименте были использованы 27 самцов крыс линии SD (Sprague Dawley) категории SPF с исходной массой 190–210 г в возрасте 7–8 нед. Животные были получены из питомника лабораторных животных «Пущино» (г. Пущино) и прошли предварительную адаптацию к условиям вивария в течение недели. Условия содержания в виварии и все процедуры с лабораторными животными были проведены с соблюдением требований и правил биоэтики, установленных в ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

Условия облучения. Облучение животных ионами ^{12}C с энергией 500 МэВ/нуклон, линейной передачей энергии (ЛПЭ) 10,6 кэВ/мкм и мощностью дозы 0,03 Гр/мин проводилось на пучке ускорителя «Нуклотрон» в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна). Крысы в количестве 10 особей подвергались однократному тотальному облучению в дозе 1 Гр в краниокаудальном направлении. Контейнеры с животными располагались последовательно по ходу пучка частиц. За 1 сеанс подвергались воздействию ионами углерода ^{12}C 2 особи. Поток частиц через контейнер на входе пучка составлял $6,1 \cdot 10^7$ ядер/см^2, через 2-й контейнер – $5,3 \cdot 10^7$ ядер/см^2. Измерение поглощенной дозы выполнялось с помощью воздушной ионизационной камеры с размером чувствительной области 4,2 × 4,2 см^2. Для создания квазиоднородного поля излучения пучок ионов ^{12}C расфокусировался магнитными линзами перед местом облучения. Неоднородность поля по координатам X и Y не превышала ±5 % в пределах области облучения. Ионизационная камера градуировалась для измерения потока частиц с помощью активационных детекторов или сцинтилляционных счетчиков. Суммарная погрешность определения поглощенной дозы не превышала 10 %. Облучение животных γ-излучением ^{60}Co проходило на установке «РОКУС-М» МТК ОИЯИ. Крысы в количестве 9 особей были облучены тотально и однократно в дозе 1 Гр в дорзовентральном направлении. Мощность дозы составляла 0,863 Гр/мин. Во время сеансов облучения животные помещались в специальные фиксирующие контейнеры. Контрольная группа была сформирована из 8 животных, которые пребывали в сходных условиях и транспортировки.

Морфологические исследования. Животные были умерщвлены методом декапитации на 30-е и 90-е сутки после облучения. Обработка биологического материала и приготовление препаратов проходили в соответствии со стандартной гистологической техникой [13]. Для получения количественных данных проведена визуальная оценка тинкториальных свойств клеток Пуркинье, их строения, формы и расположения в коре мозжечка. При

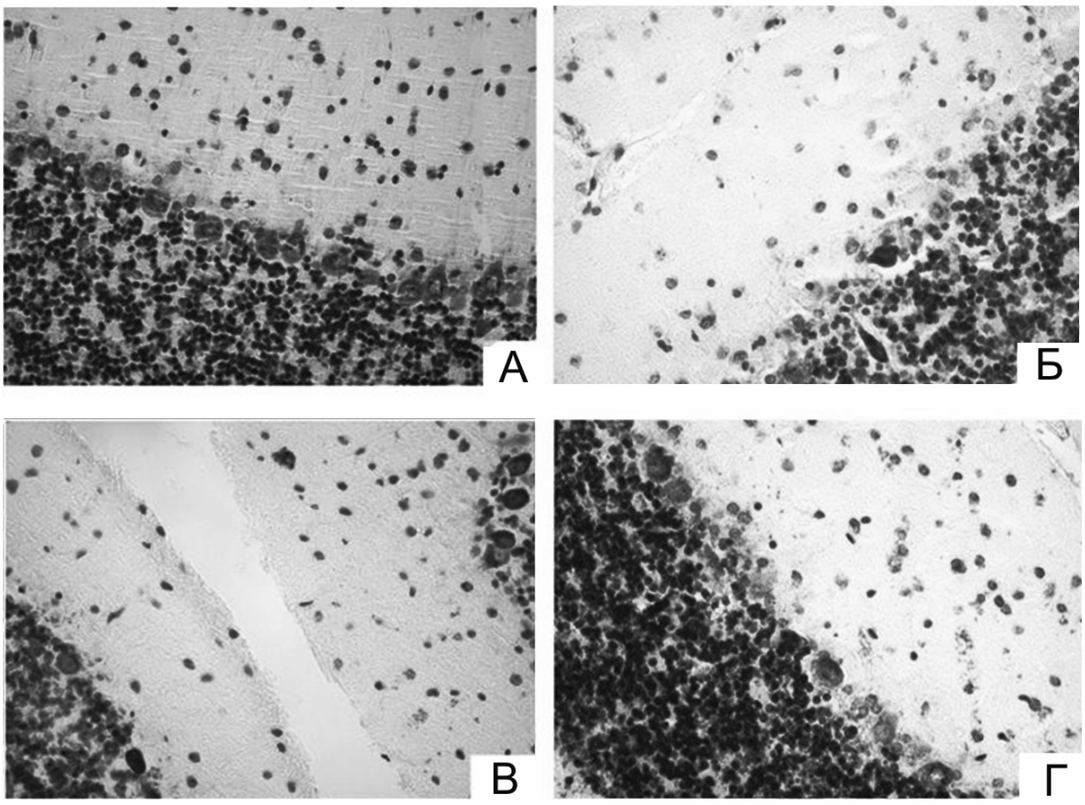

Рисунок. Морфологические изменения клеток Пуркинье в коре мозжечка крыс.
А – слой коры мозжечка, образованный нормохромными клетками Пуркинье (контрольная группа животных); Б – гетеротопическое расположение пикноморфных клеток Пуркинье (группа животных, подверженная воздействию ядер ^{12}C); В – клетки Пуркинье, подверженные различному типу хроматолиза (группа животных, облученных γ-излучением); Г – образование очагов деструкции размером 30–50 мкм в ганглиозном слое мозжечка крыс (группа животных, подверженная воздействию ядер ^{12}C). Окраска по Нисслю (ок. ×10 об. 40)

анализе препаратов определялись следующие группы нейронов: 1-я группа – нейроны без видимых изменений (рис., А); 2-я группа – нейроны с морфофункциональными и компенсаторно-приспособительными изменениями и 3-я группа – нейроны с дистрофическими нарушениями. В группу нейронов с морфофункциональными и компенсаторно-приспособительными изменениями входили клетки, подверженные умеренному хроматолизу, а также нейроны с небольшими изменениями величины и формы цитоплазмы, ядра и ядрышка, сближенные нейроны. Показателем тяжести дегенеративных процессов принято считать количество нейроцитов с дистрофическими изменениями [5–8]. К данным видам изменений относят пикноморфные нейроциты, клетки тени, нейроны, подверженные сильной вакуолизации.

Обработка полученных данных производилась с использованием программы Microsoft Excel. Статистическую значимость различий оценивали по t-критерию Стьюдента при минимальном уровне значимости различий $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Полученные в ходе экспериментов результаты представлены в таблице. Количество и динамика формирования структурных нарушений имели существенные различия между выделенными группами. На 30-е сутки после облучения количество нейронов с дистрофическими изменениями (см. рис., Б) было достоверно больше в группах животных, подверженных действию ядер углерода ^{12}C, по сравнению с интактными животными. Различия в количестве структурных нарушений были также обнаружены между группами крыс, облученных γ-квантами и ТЗЧ (30-е сутки, 3-я группа нейронов).

Количественный анализ клеток Пуркинье с морфофункциональными и компенсаторно-приспособительными изменениями (см. рис., В) не выявил определенных различий в клеточных реакциях, обусловленных воздействием ТЗЧ и γ-излучением в тот же период. Однако аналогичный показатель у необлученных крыс оказался достоверно меньше в сравнении с группой, подверженной воздействию

ионов ^{12}C (30-е сутки, 2-я группа нейронов). Обнаруженные нами участки ганглиозного слоя с высокой долей гипо- и гиперхромных нейроцитов, клеток с сегментарным или апикальным хроматолизом, умеренной гипертрофией ядра и ядрышка могут свидетельствовать об интенсификации биологических процессов в коре мозжечка животных, облученных заряженными частицами [5].

Анализ полученных материалов свидетельствует о том, что количество нейроцитов с дистрофическими изменениями спустя 3 мес после облучения достоверно больше в группе крыс, подверженных воздействию ионами ^{12}C по сравнению с γ-облучением. Тем не менее вклад клеток с дистрофическими нарушениями в общее число измененных нейронов становится меньше. Динамика формирования дегенеративных клеточных реакций на 90-е сутки в случае γ-облучения характеризуется снижением их числа до уровня интактных животных (90-е сутки, 3-я группа нейронов). Изменение значений этих показателей может быть обусловлено тем, что количество клеток, имеющих необратимые дистрофические изменения в первом периоде наблюдения (30-е сутки), уменьшилось в результате их элиминации [5].

Количество нейронов с различными видами умеренного хроматолиза, гипертрофией или незначительной вакуолизацией (2-я группа нейронов) снижается в контрольной группе и в группе животных, облученных γ-квантами, в сравнении с 30-ми сутками. Однако подобная динамика в меньшей степени наблюдается у животных, подверженных воздействию ядер углерода (90-е сутки, 2-я группа нейронов). Это позволяет сделать вывод, что облучение ТЗЧ привело к образованию более сложных структурных нарушений в ЦНС. Данное предположение подтверждает образование очагов деструкции в слое эфферентных клеток (см. рис., Г), а также гетеротопическое расположение нейронов в коре мозжечка. Эти признаки дегенеративных процессов наиболее ярко выражены в группе животных, облученных ТЗЧ.

Выводы

1. Воздействие тяжелых ионов углерода ^{12}C с энергией 500 МэВ/нуклон в дозе 1 Гр обусловливает существенное увеличение относительного числа клеток Пуркинье с дистрофическими нарушениями на 30-е и 90-е сутки после облучения. Выявленные клеточные реакции свидетельствуют о развитии дегенеративных процессов в коре мозжечка крыс.

2. Динамика формирования изменений и их характер указывают на необходимость объективной оценки радиационной опасности ТЗЧ для ЦНС и проведения детальных экспериментов по определению цитоморфологических нарушений в различных структурах мозга.

Список литературы

1. *Rabin B.M., Joseph J.A., Shukitt-Hale B.* Heavy particle irradiation, neurochemistry and behavior: thresholds, dose–response curves and recovery of function // Adv. Space Res. 2004. № 33. P. 1330–1333.

2. *Britten R.A., Davis L.K., Johnson A.M. et al.* Low (20 cGy) doses of 1 GeV/u 56Fe-particle radiation lead to a persistent reduction in the spatial learning ability of rats // Rad. Res. 2012. V. 177. № 2. P. 146–151.

3. *Parihar V.K., Allen B., Tran K.K. et al.* What happens to your brain on the way to Mars // Science Advances. 2015. V. 1. № 4. P. 1–6.

4. *Ушаков И.Б., Штемберг А.С.* Проблемы исследования воздействия факторов дальних длительных космических полетов на высшую нервную деятельность в модельных экспериментах на животных // Авиакосм. и экол. мед. 2012. Т. 46. № 1. С. 5–16.

Ushakov I.B., Shtemberg A.S. The problems of studying the effects of far long-duration space mission factors on the higher nervous activity in model experiments with animals // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2012. T. 46. № 1. P. 5–16.

5. *Федоренко Б.С.* Радиобиологические эффекты корпускулярных излучений. Радиационная безопасность космических полетов. М., 2006.

Fedorenko B.S. Radiobiological effect of corpuscular radiation. Radiation safety of space flights. Moscow, 2006.

6. *Кривицкая Г.Н., Деревягин В.И., Кабицина Р.А. и др.* Патоморфологические изменения нейронов головного мозга крыс в отдаленном периоде после облучения ионами углерода и гамма-излучением // Радиобиология. 1988. Т. 28. № 5. С. 681–685.

Krivitskaya G.N., Derevyagin V.I., Kabitsina R.A. et al. Pathological changes in brain neurons of rats in the late period after irradiation with carbon ions and gamma rays // Radiobiologiya. 1988. V. 28. № 5. P. 681–685.

7. *Федоров В.П., Гундарова О.П., Сгибнева Н.В., Маслов Н.В.* Радиационно-индуцированные и возрастные изменения нейронов мозжечка // Мед. радиология и радиационная безопасность. 2015. № 4. С. 12–18.

Fedorov V.P., Gundarova O.P., Sgibneva N.V., Maslov N.V. Radiation-induced and age-related changes in cerebellar neurons // Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost. 2015. № 4. P. 12–18.

8. *Терезанов О.Ю.* Морфофункциональная характеристика коры мозжечка в ранние и отдаленные сроки при действии ионизирующего излучения: Дис. … канд. мед. наук. М., 2006.

Terezanov O.Yu. Morphofunctional characteristic of the cerebellar cortex in the early and remote terms of ionizing radiation effect. Moscow, 2006.

9. *Красавин Е.А., Машинская Т.Е., Рыжов Н.И.* Исследование повреждающего действия излучения с различными потерями энергии на нервные клетки мозжечка крыс // Косм. биол. и авиакосм. мед. 1978. Т. 12. С. 38–42.

Krasavin E.A., Mashinskaya T.E., Ryzhov N.I. Research of damaging effect of radiation with different energy losses in the nerve cells of the cerebellum of rats // Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina. 1978. T. 12. P. 38–42.

10. *Saywell N., Taylor D.* The role of the cerebellum in procedural learning – are there implications for physiotherapists' clinical practice // Physiother. Theory and Practice. 2008. V. 24. № 5. P. 321–328.

11. *Andreasen N.C., O'Leary D.S., Paradiso S. et al.* The cerebellum plays a role in conscious episodic memory retrieval // Human Brain Mapping. 1999. V. 8. № 4. P. 226–234.

12. *Nagao S., Kitazawa H.* Role of the cerebellum in the acquisition and consolidation of motor memory // Brain Nerve. V. 60. № 7. P. 783–790.

13. *Волкова О.В., Елецкий Ю.К.* Основы гистологии и гистологической техники. М., 1982.

Volkova O.V., Eletskiy Yu.K. Histology and histological techniques. Moscow, 1982.

Поступила 26.01.2016

MORPHOLOGICAL CHANGES IN PURKINJE CELLS OF RAT'S CEREBELLUM CORTEX FOLLOWING IRRADIATION WITH CARBON ^{12}C IONS

Severiukhin Yu.S., Budennaya N.N., Timoshenko G.N., Ivanov A.A., Krasavin E.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 1. P. 44–48

Investigations into the effects of heavy charged particles (HCPs) of galactic space radiation on the central nervous system (CNS) of cosmonauts are crucial for evaluation of radiation risks in exploration class missions. Cytological studies of rat's cerebellum irradiated with carbon ^{12}C heavy ions with the energy of 500 MeV/nucleon were performed as part of a model experiment at the Joint Institute for Nuclear Research (JINR) in Dubna.

Exposure of animals to HCPs increased reliably the relative number of destructively modified neurons in the cerebellum cortex. Dynamics of morphological changes points to more severe CNS effects from heavy ions.

Key words: cerebellum, Purkinje cells, neuron, heavy charged particles, space radiation.

УДК 581.5

ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕЛЕННЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ЖИДКИХ ПРОДУКТАХ ПЕРЕРАБОТКИ ЭКЗОМЕТАБОЛИТОВ ЧЕЛОВЕКА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К БИОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Тихомирова Н.А.[1], Павлова А.М.[1], Ушакова С.А.[1, 2], Трифонов С.В.[1, 2], Грибовская И.В.[1], Тихомиров А.А.[1, 2]

[1]Институт биофизики Сибирского отделения РАН, г. Красноярск
[2]Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад. М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск

E-mail: n.tikhomirova@mail.ru

Целью работы явилось исследование продукционных характеристик зеленных растений при использовании минерализованных экзометаболитов человека для минерального питания применительно к биолого-технической системе жизнеобеспечения (БТСЖО). Объектами исследования были растения Salicornia europaea L., Brassica juncea L., Lepidium sativum angustifolia L. и Nasturtium officinale R.Br. Растения выращивали в вегетационной камере методом водной культуры при круглосуточном освещении. В 1-й серии экспериментов растения Salicornia europaea L., Brassica juncea L., Lepidium sativum angustifolia L. и Nasturtium officinale R.Br. выращивали на растворах с добавлением минерализованных экзометаболитов человека. Во 2-й серии экспериментов растения Salicornia europaea L. и Nasturtium officinale R.Br. выращивали на модельных растворах, имитирующих растворы с добавлением минерализованных экзометаболитов человека, с разными концентрациями NaCl в растворах. Эксперименты показали, что растения Salicornia europaea и Nasturtium officinale можно выращивать в БТСЖО с целью включения NaCl во внутрисистемный массообмен. Однако при выборе технологии биологического обессоливания растворов с помощью данных видов растений, необходимо учитывать уровень засоления питательных растворов, в зависимости от которого, использовать либо менее солеустойчивые растения водяного кресс-салата (Nasturtium officinale R.Br.), либо более солеустойчивые растения солероса европейского (Salicornia europaea L.).

Ключевые слова: *Salicornia europaea, Brassica juncea, Lepidium sativum angustifolia, Nasturtium officinale*, биолого-техническая система жизнеобеспечения, утилизация экзометаболитов человека.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 1. С. 49–55.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-49-55

Для повышения степени замкнутости круговорота веществ в биолого-технической системе жизнеобеспечения (БТСЖО) необходимо создание технологий, обеспечивающих включение в круговорот экзометаболитов человека, в том числе и NaCl [1–5]. В ИБФ СО РАН разработан и продолжает совершенствоваться метод физико-химической переработки плотных и жидких выделений человека. Однако использование минерализованных экзометаболитов человека в качестве единственного источника минеральных элементов для питания растений влечет за собой, с одной стороны, проблему недостатка некоторых минеральных элементов, а с другой – поднимает проблемы, связанные с оценкой устойчивости растений к NaCl, содержащемуся в жидких выделениях человека. Одним из возможных подходов в решении данной проблемы является подбор таких видов растений, которые могли бы произрастать на нестандартных по минеральному составу питательных растворах, утилизировать NaCl в достаточно высоких концентрациях, быть съедобными для человека и обладать достаточно высокой продуктивностью.

Ранее было показано, что соленакапливающий галофит *Salicornia europaea* L. благодаря своим физиологическим характеристикам является перспективным претендентом для выращивания в искусственной замкнутой экосистеме космического назначения с целью включения NaCl во внутрисистемный массообмен [6]. Однако для создания более полноценной растительной диеты человека необходимо также оценить возможности выращивания ряда растений при использовании минерализованных экзометаболитов человека, содержащих NaCl в качестве источников минерального питания. Целью являлось изучение продукционных характеристик *Salicornia europaea* L., *Brassica juncea* L., *Lepidium sativum angustifolia* L. и *Nasturtium officinale* R. Br. при использовании минерализованных экзометаболитов человека как источников элементов минерального питания применительно к БСЖО.

Методика

Было проведено 2 серии экспериментов. В 1-й серии экспериментов в качестве объектов

исследования были выбраны растения горчицы сизой *Brassica juncea* L. Japanagawa Shirokuki (Япония) М-09, водяного кресс-салата *Nasturtium officinale* R. Br. К-5 (Канада), кресс-салата узколистного *Lepidium sativum angustifolia* L. и солероса европейского *Salicornia europaea* L. Семена всех исследуемых видов растений, за исключением солероса европейского, были предоставлены Всероссийским институтом растениеводства им. Н.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург (ВИР РАСХН). Растения выращивали методом водной культуры в вегетационной камере при круглосуточном освещении в вегетационных сосудах из нержавеющей стали, с посевной площадью 0,032 м^2. Источником освещения являлись металлогалогенные лампы ДМЗ-3000. Интенсивность фотосинтетически активной радиации (ФАР) составляла 690 мкмоль·м$^{-2}$·с$^{-1}$. Температуру воздуха в камере поддерживали на уровне 24 ± 1 °С при относительной влажности воздуха 60–70 %. Концентрация CO_2 была 0,04 %.

Плотность посадки составляла 94 растения на 1 м^2. Длительность вегетации (от посадки на экспериментальные растворы до уборки растений) составляла: солерос европейский – 35 сут, горчица сизая – 28 сут, кресс-салат узколистный – 28 сут, водяной кресс-салат канадский – 28 сут. Выбранная длительность вегетации растений солероса европейского была связана с оптимальным соотношением между содержанием натрия в съедобной биомассе, величиной биомассы и вкусовыми качествами растений в данном возрасте [6]. Остальные виды растений были убраны в более раннем возрасте, как только происходил переход растений к репродуктивной фазе развития.

Питательный раствор был получен следующим образом. Поскольку пшеница является основной культурой в БТСЖО с европейским типом диеты, а экзометаболиты человека содержат все необходимые для питания растений нутриенты, растения пшеницы *Triticum aestivum* L., линия 232 селекции Г.М. Лисовского выращивали в конвейерном режиме на растворе, приготовленном на основе минерализованных по методу Ю.А. Куденко экзометаболитов человека [6] в течение 70 сут. После уборки очередного возраста растений пшеницы из бака для полива отбирали 6 л раствора и использовали для культивирования исследуемых растений. Таким образом, еженедельно проводили частичное обессоливание питательного раствора, благодаря которому концентрация NaCl в растворе поддерживалась на приемлемом для пшеницы уровне. Минеральный состав раствора, использованного для культивирования растений горчицы сизой, водяного кресс-салата, кресс-салата узколистного и солероса европейского, представлен в табл. 1.

Исходный объем раствора составлял 2 л. В 1-ю неделю вегетации в сосуды с растениями добавляли воду по мере испарения растворов. Затем коррекцию растворов проводили исходным раствором так, чтобы за вегетацию в каждый сосуд было внесено всего 6 л раствора. Содержание нутриентов в 2 л исходного раствора, а также общее количество макро- и микроэлементов, внесенных в питательные растворы за период вегетации, представлены в табл. 1. Питательные растворы постоянно обогащали кислородом посредством непрерывной аэрации с помощью компрессоров для аквариума.

Во 2-й серии экспериментов объектами исследования были растения водяного кресс-салата и солероса европейского. Культивирование растений осуществляли методом водной культуры при тех же условиях выращивания, как в 1-й серии экспериментов. В качестве питательного раствора был использован модельный раствор, имитирующий раствор с добавлением экзометаболитов человека (см. табл. 1). Известно, что наиболее оптимальные концентрации NaCl для роста растений солероса европейского находятся в диапазоне 170–400 мМ [7], тогда как в исходных растворах с добавлением экзометаболитов человека, полученных после выращивания растений пшеницы, концентрация хлорида натрия составляет лишь 12 мМ. Поскольку в ИБФ СО РАН разрабатывается метод обессоливания минерализованных экзометаболитов, появляется возможность извлекать NaCl из питательных растворов, содержащийся в растворе после выращивания пшеницы в небольшой концентрации, и добавлять извлеченный NaCl в питательные растворы для выращивания солеустойчивых растений на начальном этапе культивирования с целью стимуляции роста растений и получения более высокой массы растений. В этой связи было исследовано влияние внесения NaCl в питательные растворы на разных этапах роста на продукционные характеристики растений солероса европейского и водяного кресс-салата. Для солероса европейского эксперимент включал 5 вариантов: 3 опытных и 2 контрольных. В каждый опытный вариант необходимо было внести 4,2 г NaCl, содержащихся в 6 л раствора, имитирующего раствор с добавлением минерализованных экзометаболитов человека. В опыте 1 концентрация NaCl в исходном растворе составляла 0,7 г/л, в опыте 2–1,4 г/л, в опыте 3–2,1 г/л. Остальное количество NaCl вносили в каждый сосуд в течение вегетации с корректирующими растворами (см. табл. 1). В контроле 1 концентрация NaCl составляла 0,02 г/л и складывалась из примесей, содержавшихся в воде и в использованных для приготовления раствора солях. В контроле 2 концентрация NaCl составляла 10 г/л, так как известно, что данный уровень засоления является оптимальным для роста растений солероса европейского [7, 8].

Для водяного кресс-салата эксперимент включал 4 варианта: 3 опытных и 1 контрольный

Таблица 1

Содержание макро- и микроэлементов, лимоннокислого железа в питательных растворах, использованных для культивирования исследуемых видов растений в 1-й и во 2-й сериях экспериментов (мг)

Вариант	Ca	K	Mg	Na	P	S	N	Микро-элементы	Лимонно-кислое железо
Содержание макро- и микроэлементов, лимоннокислого железа в 2 л исходного раствора, использованного в 1-й серии экспериментов для культивирования исследуемых видов растений (мг)									
4 вида растений	458	432	82	526	82	172	300	3,4	4,8
Общее количество макро- и микроэлементов, лимоннокислого железа, внесенных в 2 л питательного раствора в 1-й серии экспериментов за период вегетации (мг)									
4 вида растений	1374	1296	246	1578	246	516	900	10,2	14,4
Содержание макро- и микроэлементов, лимоннокислого железа в 2 л исходного раствора, использованного во 2-й серии экспериментов для культивирования исследуемых видов растений (мг)									
Опыт 1	458	432	82	526	82	172	300	10,2	14,4
Опыт 2	458	432	82	1052	82	172	300	10,2	14,4
Опыт 3	458	432	82	1578	82	172	300	10,2	14,4
Контроль 1	458	432	82	20	82	172	300	10,2	14,4
Контроль 2	458	432	82	7863	82	172	300	10,2	14,4
Общее количество макро- и микроэлементов, лимоннокислого железа, внесенных в 2 л питательного раствора во 2-й серии экспериментов за период вегетации (мг)									
Опыт 1	1374	1296	246	1578	246	516	900	10,2	14,4
Опыт 2	1374	1296	246	1578	246	516	900	10,2	14,4
Опыт 3	1374	1296	246	1578	246	516	900	10,2	14,4
Контроль 1	1374	1296	246	20	246	516	900	10,2	14,4
Контроль 2	1374	1296	246	7863	246	516	900	10,2	14,4

(см. табл. 1). Опытные варианты для водяного кресс-салата были такими же, как и для солероса европейского. В качестве контроля был использован только вариант, соответствующий контролю 1 для солероса европейского без добавления хлорида натрия (0,02 г/л NaCl), т.к. растения водяного кресс-салата являются гликофитами.

Как и в 1-й серии экспериментов, исходный объем раствора составлял 2 л. В 1-ю неделю вегетации в сосуды с растениями добавляли воду по мере испарения растворов. Затем коррекцию растворов проводили исходным раствором так, чтобы за вегетацию в каждый сосуд было внесено всего 6 л раствора (см. табл. 1). Методика внесения NaCl в раствор зависела от варианта и описана выше. Питательные растворы постоянно обогащали кислородом.

Состояние растений оценивали по сухой массе и минеральному составу. Минеральные элементы определяли с помощью следующих методик и приборов: K, Na – методом пламенной фотометрии на приборе Flapho-4; Ca, Mg – методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре Solaar M5; N – методом фотоколориметрии по Кьельдалю; P – методом фотоколориметрии; S – методом титрометрии [6]. В таблицах и на рисунках представлены данные в виде средних арифметических значений. Достоверность различий между средними определяли по критерию Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

В результате выращивания исследуемых видов зеленных растений на растворах с добавлением минерализованных экзометаболитов человека, наибольшую сухую массу съедобной надземной части имели растения солероса европейского (рис. 1): в 2,1 раза выше по сравнению с водяным кресс-салатом, в 3 раза выше по сравнению с горчицей сизой

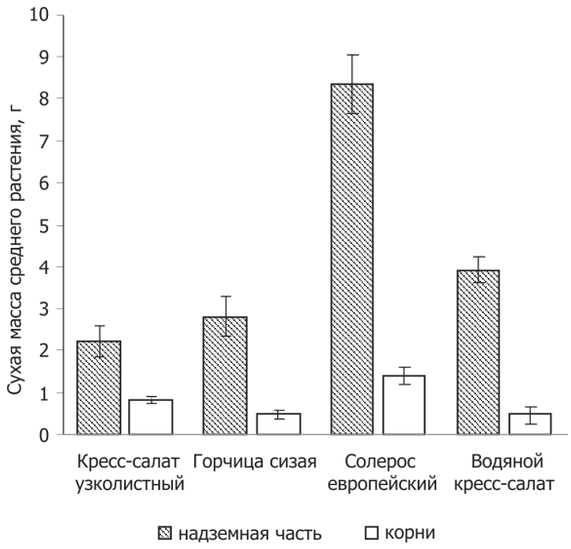

Рис. 1. Сухая масса растений солероса европейского, горчицы сизой, водяного кресс-салата, кресс-салата узколистного, выращенных на растворах с добавлением минерализованных экзометаболитов человека

и в 3,7 раза выше по сравнению с кресс-салатом узколистным. Сухая масса съедобной надземной части растений водяного кресс-салата была выше сухой биомассы надземной части кресс-салата узколистного в 1,8 раза. У растений кресс-салата узколистного несъедобная сухая масса корней составляла 37 % от сухой биомассы съедобной части, что снижает Кхоз данного вида растений по сравнению с другими исследуемыми видами и делает его менее предпочтительным для включения в фототрофное звено БТСЖО. Так как горчица сизая и кресс-салат узколистный являются растениями длинного дня [9, 10], непрерывное освещение в данном эксперименте ускоряло процессы развития растений, в результате чего растения рано переходили к цветению, что сказывалось на продуктивности растений и снижало вкусовые качества данных видов.

Анализ минерального состава съедобной части растений показал, что наибольшее относительное количество натрия было в надземных органах растений солероса европейского и водяного кресс-салата (табл. 2). Относительное содержание натрия в биомассе надземной части растений кресс-салата узколистного и горчицы сизой достоверно не отличалось и было ниже, чем у водяного кресс-салата и солероса европейского, более чем на 64 %. Поскольку солерос европейский является соленакапливающим галофитом, для которого оптимальный уровень засоления NaCl составляет 170–400 мМ [7, 8], в данных условиях растения испытывали гипоосмотический стресс и как физиологический ответ наблюдали значительное увеличение в биомассе надземной части солероса содержания некоторых минеральных элементов (Ca, K, P, Mg) по сравнению с другими исследуемыми видами растений.

В результате выращивания растений на модельных растворах, имитирующих растворы с добавлением минерализованных экзометаболитов человека, растения солероса европейского имели наиболее высокую сухую массу съедобной надземной части в контроле 2 с максимальным уровнем засоления NaCl (рис. 2, А), тогда как растения водяного кресс-салата – в контроле, где NaCl в раствор не вносили (см. рис. 2, Б). Это еще раз подтверждает особенности физиологии исследуемых видов растений и показывает, что растения солероса европейского являются

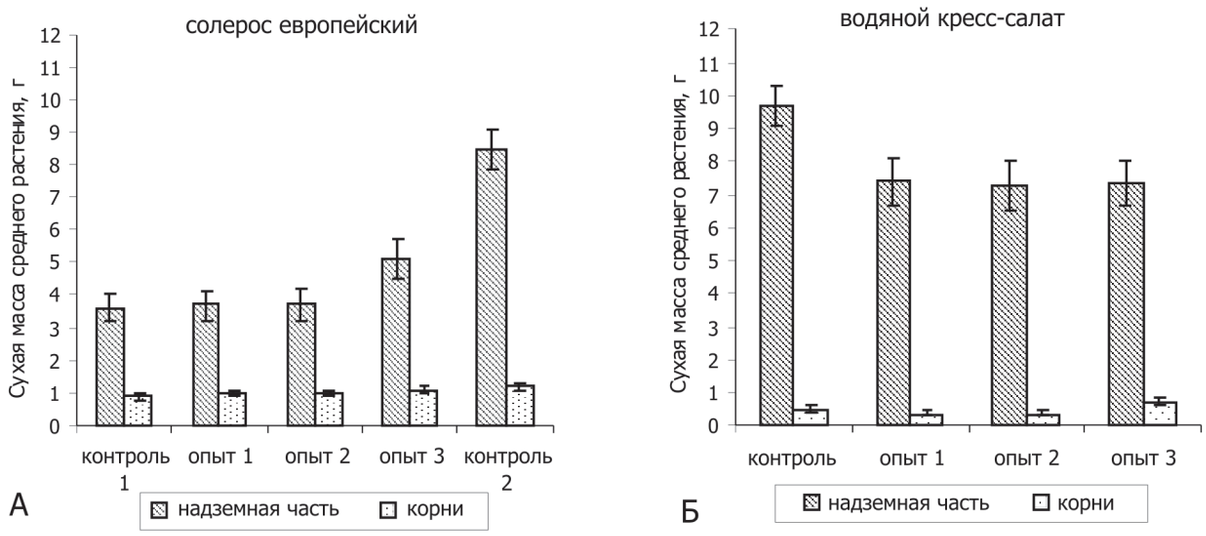

Рис. 2. Сухая масса зеленных растений солероса европейского и водяного кресс-салата, выращенных на модельном растворе, имитирующем раствор с добавлением минерализованных экзометаболитов человека.
А – солерос европейский; Б – водяной кресс-салат

Таблица 2

Минеральный состав съедобной части зеленных растений, выращенных на растворах с добавлением минерализованных экзометаболитов человека, % в сухом веществе (ошибка не превышает 10 % от измеряемой величины)

Вид растений	Ca	K	Mg	Na	P	S	N
Кресс-салат узколистный	01,9	1,9	0,6	0,8	0,3	0,4	3,3
Водяной кресс-салат	1,6	2,2	0,9	2,2	0,4	0,2	3,4
Солерос европейский	2,7	2,7	1,3	3,6	0,5	0,4	3,4
Горчица сизая	2,2	1,9	0,7	1,0	0,2	0,4	3,4

Таблица 3

Минеральный состав съедобной части зеленных растений, выращенных на модельных растворах, имитирующих растворы с добавлением минерализованных экзометаболитов человека, % в сухом веществе (ошибка не превышает 10 % от измеряемой величины)

Вариант	Ca	K	Mg	Na	P	S	N
Солерос европейский							
Контроль 1	4,5	5,8	1,4	0,4	0,6	0,8	5,6
Опыт 1	1,9	5,2	0,9	5,6	0,4	0,5	4,5
Опыт 2	2,8	4,6	1,1	5,9	0,3	00,5	4,9
Опыт 3	2,7	5,1	1,0	6,1	00,3	0,5	5,0
Контроль 2	1,1	2,7	0,4	9,2	0,4	0,4	2,5
Водяной кресс-салат							
Контроль	2,0	4,1	0,5	0,2	0,5	0,9	3,8
Опыт 1	2,1	3,4	0,4	1,9	0,4	1,0	4,0
Опыт 2	1,7	3,9	0,5	2,9	0,4	0,9	4,4
Опыт 3	2,0	3,9	0,5	2,5	0,5	1,1	4,5

типичным галофитом, а водяного кресс-салата – гликофитом [7, 11]. Способ внесения NaCl в питательные растворы опытных вариантов не оказал влияния на сухую массу надземной части растений водяного кресс-салата (см. рис. 2, Б). Сухая масса надземной части растений солероса европейского в контроле 1 без добавления NaCl, а также в опытах 1 и 2 достоверно не отличалась (см. рис. 2, А). В опыте 3 сухая масса съедобной части солероса европейского была в 1,4 раза выше по сравнению с контролем 1, опытами 1 и 2.

Способ внесения NaCl в питательный раствор не оказал влияния на накопление натрия в съедобной надземной части солероса европейского (табл. 3, опыт 1–3). При увеличении концентрации NaCl в питательном растворе от 2,1 до 10 г/л в надземной части солероса европейского содержание Na увеличилось на 34 % (см. табл. 3, ср. опыт 3 и контроль 2). Высокое содержание Ca, Mg, P, S и N в надземной части солероса европейского в контроле 1 связано с тем, что растения находились в состоянии гипоосмотического стресса. Во всех опытных вариантах содержание Na в надземной части солероса европейского было более чем в 2 раза выше по сравнению с водяным кресс-салатом. Однако, поскольку съедобная биомасса растений водяного

кресс-салата в опыте 1 и 2 была в 2 раза выше по сравнению с растениями солероса европейского данных вариантов, вынос Na из раствора растениями солероса европейского и водяного кресс-салата в опыте 1 и 2 был практически одинаковым (см. рис. 2, табл. 3). При концентрации NaCl 2,1 г/л (опыт 3) сухая масса надземной части растений водяного кресс-салата была в 1,4 раза больше, чем у растений солероса европейского, при этом содержание натрия в надземной части солероса европейского было в 2,4 раза выше по сравнению с водяным кресс-салатом. В этой связи в опыте 3 растения солероса европейского выносили из раствора в 1,7 раза больше Na по сравнению с растениями водяного кресс-салата.

Выводы

1. В результате проведенных исследований показано, что растения горчицы сизой, водяного кресс-салата, солероса европейского и кресс-салата узколистного можно выращивать методом водной культуры при использовании жидких продуктов минерализации экзометаболитов человека в качестве источников элементов минерального питания. При этом наибольшую сухую биомассу съедобной части с наиболее высоким содержанием натрия имеют растения солероса европейского и водяного кресс-салата.
2. При выращивании на модельном растворе, имитирующем раствор с добавлением минерализованных экзометаболитов человека, с содержанием NaCl в концентрациях 0,7; 1,4; 2,1 г/л, растения водяного кресс-салата накапливают значительно большую сухую биомассу, чем у растений солероса европейского, поскольку растения солероса европейского при данных уровнях засоления испытывают гипоосмотический стресс.
3. При выращивании растений на модельном растворе, имитирующем раствор с добавлением минерализованных экзометаболитов человека, с содержанием NaCl в концентрации 2,1 г/л, растения солероса европейского выносят из раствора в 1,7 раза больше натрия по сравнению с водяным кресс-салатом.
4. Растения солероса европейского и водяного кресс-салата являются наиболее перспективными из исследованных видов для включения в фототрофное звено БТСЖО с целью вовлечения NaCl во внутрисистемный массообмен. При выборе технологии биологического обессоливания растворов с помощью данных видов растений необходимо учитывать уровень засоления питательных растворов, в зависимости от которого использовать либо менее солеустойчивые растения водяного кресс-салата, либо более солеустойчивые растения солероса европейского.

Первая серия экспериментов была выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 14-14-00599). Вторая серия экспериментов была выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. по теме № 56.1.4 «Оценка устойчивости ценозов высших растений замкнутых экологических систем, включающих человека, к выращиванию на питательных средах из минерализованных органических отходов».

Список литературы

1. *Gitelson I.I., Lisovsky G.M., MacElroy R.D.* Manmade closed ecological systems. London; N.Y., 2003.
2. *Tsuga S., Tako Y., Endo M. et al.* Research and development of the waste processing system in the closed ecology experiment facilities // Proc. of the International symposium on application of a closed experimental system to modeling of C14 transfer in the environment. Rokkasho, Japan, 2007. P. 119–126.
3. *Lasseur C., Brunet J., de Weever H. et al.* MELiSSA: the European project of closed life support system // Gravit. and Space Res. 2010. V. 23. P. 3–12.
4. *Wheeler R.M.* Plants for human life support in space: from Myers to Mars // Ibid. P. 25–36.
5. *Nelson M., Dempster W.F., Allen J.P.* Integration of lessons from recent research for «Earth to Mars» life support systems // Adv. Space Res. 2008. V. 41. P. 675–683.
6. *Ushakova S.A., Tikhomirov A.A., Tikhomirova N.A. et al.* A biological method of including mineralized human liquid and solid wastes into the mass exchange of bio-technical life supports // Ibid. 2012. V. 50. P. 932–940.
7. *Aghaleh M., Niknam V., Ebrahimzadeh H., Razavi K.* Salt stress effects on growth, pigments, proteins and lipid peroxidation in *Salicornia persica* and *S. europaea* // Biol. Plant. 2009. V. 53. P. 243–248.
8. *Aghaleh M., Niknam V., Ebrahimzadeh H., Razavi K.* Effect of salt stress on physiological and antioxidative responses in two species of Salicornia (*S. persica* and *S.europaea*) // Acta Physiol. Plant. 2011. V. 33. P.1261–1270.
9. *Makus D.J., Lester G.* Light intensity and time of day at harvest affects ascorbic acid concentration and mineral nutrient content and leaf greenness in field - grown mustard greens // Subtropical plant science. 2004. V. 56. P. 21–25.
10. *Studzińska S., Buszewski B.* Study of toxicity of imidazolium ionic liquids to watercress (*Lepidium sativum* L.) // Anal. Bioanal. Chem. 2009. V. 393. P. 983–990.
11. *Kaddour R., Draoui E., Baâtour O. et al.* Assessment of salt tolerance of *Nasturtium officinale* R. Br. using physiological and biochemical parameters // Acta physiology plant. 2013. V. 35. P. 3427–3436.

Поступила 13.07.2016

YIELD CHARACTERISTICS OF GREEN PLANTS CULTIVATED ON LIQUID PRODUCTS OF HUMAN EXOMETABOLITE PROCESSING FOR A BIO-TECHNICAL LIFE SUPPORT SYSTEM

Tikhomirova N.A., Pavlova A.M., Ushakova S.A., Trifonov S.V., Gribovskaya I.V., Tikhomirova A.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 1. P. 49–55

The purpose was to test potentiality of a green plant cultivation technology based on mineralization of human exometabolites as a component of a bio-technical life support systems (BTLSS). Objects in the investigation were Salicornia europaea L., Brassica juncea L., Lepidium sativum angustifolia L. and Nasturtium officinale R.Br. The plants were raised in a plant growth chamber as water cultures under continuous lighting. In the first experiment, Salicornia europaea L., Brassica juncea L., Lepidium sativum angustifolia L. and Nasturtium officinale R.Br. grew on solutions with mineralized human exometabolites. In the second experiment, Salicornia europaea L. and Nasturtium officinale R.Br. grew on solutions also with mineralized human exometabolites but differing in NaCl concentrations. The experiments showed that Salicornia europaea and Nasturtium officinale can be cultivated within BTLSS in order to introduce NaCl into the intrasystem mass-exchange. However, choice of a technology of nutrient solution demineralization using plant species must be made with consideration of how high the level of salification is and whether a solution will be fed to salt-intolerant Nasturtium officinale or more tolerant Salicornia europaea L..

Key words: *Salicornia europaea*, *Brassica juncea*, *Lepidium sativum angustifolia*, *Nasturtium officinale*, bio-technical life support system, human exometabolite processing.

УДК 543,615.9,629.7

МОНИТОРИНГ, ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Пахомова А.А., Озеров Д.С., Царьков Д.С., Хорошева Е.Г., Мухамедиева Л.Н.

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

E-mail: anyuta.pakhomova@gmail.com

Проанализированы результаты мониторинга летучих органических соединений в воздушной среде Международной космической станции, полученные в процессе 15-летней эксплуатации. Статистически установлено, что измеренные концентрации вредных веществ в воздухе орбитальной станции (ОС) распределяются логнормально. При этом среднеарифметическое значение в исследованных распределениях в среднем соответствует 70-му перцентилю, что должно учитываться при гигиеническом регламентировании допустимых уровней загрязнения воздуха пилотируемых ОС.

Показано, что увеличение длительности эксплуатации станции сопровождается постепенным нарастанием уровня суммарного загрязнения воздушной среды химическими веществами с расширением спектра и токсиколого-гигиенической значимости веществ.

Ключевые слова: пилотируемые орбитальные станции, формирование химического состава воздушной среды, химико-аналитический мониторинг качества воздушной среды, суммарный показатель качества воздушной среды, гигиеническая оценка многокомпонентного загрязнения воздушной среды, логнормальное распределение.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 1. С. 56–62.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-56-62

Совершенствование системы гигиенических мероприятий для обеспечения качества воздушной среды Международной космической станции (МКС) направлено на сохранение здоровья и работоспособности человека при осуществлении длительных полетов. Важно отметить, что в настоящее время гигиеническая документация, регламентирующая мероприятия по обеспечению качества воздушной среды МКС, основана на результатах исследований, проведенных на орбитальной станции (ОС) «Мир». Однако результаты санитарно-химических и токсикологических исследований, проведенных на МКС, показали значительные различия в составе детектируемых летучих органических соединений (ЛОС) [1–3]. Анализ номенклатуры химических веществ показал, что основной вклад в изменение состава ЛОС и уровень загрязнения воздушной среды МКС вносят вещества, мигрирующие из полимерных материалов (ПМ), что обусловлено в основном изменением рецептуры материалов и увеличением насыщенности станции полимерами, доставляемыми российскими и международными партнерами в составе оборудования и научной аппаратуры [4, 5]. Изменение токсиколого-гигиенических характеристик детектируемых химических соединений позволяет прогнозировать повышение уровня суммарной химической нагрузки на организм человека в полете. В связи с этим, представляется необходимым исследовать особенности формирования многокомпонентного химического состава ЛОС на примере МКС и провести токсиколого-гигиеническую оценку химического состава среды для разработки гигиенических регламентов применительно к условиям увеличении длительности пилотируемых полетов до 3 лет. Проведение исследований необходимо также для научного обоснования медико-технических требований к системам очистки и регенерации перспективных пилотируемых космических аппаратов.

Методика

Система мониторинга качества воздушной среды МКС обеспечивает получение максимально полного объема информации для проведения токсиколого-гигиенической оценки и включает химико-аналитические методы непрерывного контроля в реальном масштабе времени (оксид и диоксид углерода, аммиак, оксиды азота, водород, формальдегид) и периодический контроль содержания ЛОС при анализе проб воздушной среды, доставляемых на Землю.

Периодический контроль ЛОС проводился методом хроматомасс-спектрометрии в соответствии с ГОСТ Р ИСО 16000 («Воздух замкнутых помещений. Часть 6. Определение летучих органических соединений в воздухе замкнутых помещений и испытательной камеры путем активного отбора проб на сорбент Tenax TA с последующей термической десорбцией и газохроматографическим анализом

с использованием МСД/ПИД»). Пробы воздушной среды отбирали в адсорбционные трубки АК-1М со слоем сорбента Tenax TA, подвергали термической десорбции при +280 °С с одновременным криогенным улавливанием летучих компонентов при -30 °С и последующим хроматографическим разделением на капиллярной колонке HP-5MS с детектированием квадрупольным масс-анализатором ионов электронного удара (энергия ионизации 70 эВ) в диапазоне m/z 2-500. Калибровку прибора «Agilent GC 5973 MSD» с интегрированными системами десорбции и напуска «Gerstel» TDS3 и CIS4 проводили с использованием растворов целевых соединений производства «Sigma-Aldrich» (Швейцария). При отборе 0,5 л пробы предел обнаружения идентифицированных соединений составляет $5 \cdot 10^{-12}$ г/м^3.

Показатель суммарной загрязненности воздушной среды ОС определяется по формуле Тсум. = Σ_i C_i/ПДК$_{ПКАi}$. и рассматривается в гигиенической практике как интегральный показатель, учитывающий совокупность контролируемых вредных химических веществ [6] и отражающий общую направленность в динамике загрязнения воздушной среды за длительный период функционирования ОС.

При расчете суммарного показателя включаются вещества, контролируемые весь период функционирования МКС, и которые были постоянными и количественно определяемыми компонентами воздушной среды. Также при расчете учитываются частота и кратность превышения ПДК$_{ПКА}$ веществ, класс опасности.

Токсикологическую оценку суммарной химической нагрузки на человека определяли по коэффициенту Ткрит., рассчитанного для каждого количественно идентифицированного вещества с учетом однонаправленного токсического действия ЛОС [7]. Коэффициент Ткрит. = С/ПДК$_{ПКА}$ – отношение реально измеренных концентраций к их предельно допустимым концентрациям, где С – концентрации фактически найденных химических веществ, ПДК$_{ПКА}$ – предельно допустимые концентрации для пилотируемых космических аппаратов (ГОСТ Р 50804-95).

В процессе статистического исследования применялась группировка данных с помощью электронных таблиц EXCEL 2010. Статистический анализ проводили с использованием стандартных пакетов программ: Statistica Statsoft ver.8, STATGRAPHICS Centurion XVI, version 16.1.11., IBM SPSS Statistics v.2.2. Вероятностно-статистические распределения веществ получены с использованием общепринятых методических подходов [8, 9]. Статистический способ оценки характера распределения основан на сопоставлении выборочного (результаты экспериментальных данных) и предполагаемого теоретического (логнормального) распределения. Проверка гипотезы распределения производилось с использованием критерия Пирсона χ2 и критерия

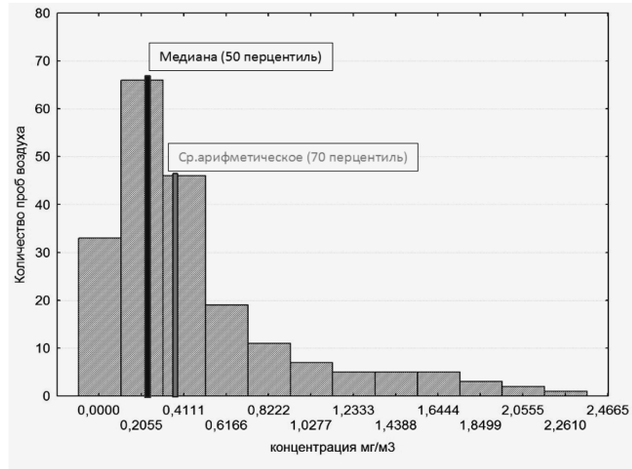

Рис. 1. Типичная гистограмма распределения измеренных концентраций летучих органических соединений с указанным положением медианы и среднего арифметического значения для совокупности (на примере толуола)

Колмогорова – Смирнова. Статистическая взаимосвязь между переменными проводилась с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

Результаты и обсуждение

Исследования динамики химического состава воздушной среды в длительных наземных испытаниях и на ОС «Салют-7», «Мир», а так же статистический анализ 21 000 концентраций ЛОС, полученных при анализе проб воздушной среды МКС в период 15-летнего мониторинга, позволили установить логнормальный характер распределения измеренных концентраций химических веществ [10]. При этом среднеарифметическое значение в исследованных распределениях в среднем соответствует 70-му перцентилю, что должно учитываться при гигиеническом регламентировании допустимых уровней загрязнения воздушной среды пилотируемых ОС (рис 1). Соответствие среднеарифметического значения 70-му перцентилю распределения правомерно для всех рассмотренных периодов осреднения и представленная гистограмма распределения типична для всех химических веществ, загрязняющих воздушную среду МКС.

Установление характера распределения веществ в воздушной среде МКС позволило объединить установленные ранее положения по формированию состава ЛОС [11] и сформулировать единую систему формирования многокомпонентного загрязнения воздушной среды длительно функционирующих ОС, закономерностями которой являются:

– логнормальный характер распределения измеренных концентраций химических веществ, при котором среднеарифметическое значение в

Рис. 2. Основные источники химически веществ, формирующие химический состав воздушной среды ОС

исследованных распределениях в среднем соответствует 70-му перцентилю;

– динамичность количественного и качественного состава химических веществ с неравномерностью распределения концентраций по модулям;

– периодическое формирование «всплесков» пиковых концентраций веществ с периодическим превышением на порядок и более соответствующих нормативных требований.

При токсикологической оценке учитывали основные неблагоприятные факторы длительного пребывания человека в условиях многокомпонентного загрязнения химическими веществами воздушной среды МКС:

– длительность и непрерывность комбинированного действия химических веществ;

– интермиттирующее воздействие химических веществ.

Формирование многокомпонентного загрязнения среды пилотируемых ОС определяется наличием многочисленных источников выделения химических веществ в воздушную среду (рис. 2).

Результаты химико-аналитических исследований показали, что в длительно функционирующих станциях вклад человека в загрязнение среды определяется накоплением диоксида углерода и метана, поддержание концентраций которых в пределах нормативных требований эффективно осуществляется соответствующими системами очистки российского и американского сегментов МКС.

В образцах проб воздуха, доставленных с МКС, идентифицировано до 144 летучих и среднелетучих органических веществ, представляющих следующие классы соединений: алканы (С4–С10), алкены (С4–С9), циклоалканы (С6–С8), сложные эфиры, спирты (С2–С8), кетоны, соединения серы, нитрилы органических кислот, линейные и циклические кремнийорганические соединения, органосиланолы, алкилсульфиды, целлозольвы, фталаты, хлорорганические производные углеводородов. Исследования показали значительную вариабельность количественного и качественного состава веществ в воздушной среде МКС в процессе увеличения длительности эксплуатации. При этом наблюдалось как увеличение классов детектируемых ЛОС, так и их вклад (%) в уровень суммарного загрязнения воздушной среды станции в различные периоды мониторинга (рис. 3, А). Анализ процентного вклада (%) ЛОС в загрязнение воздушной среды станции показал лидирующую роль спиртов, альдегидов, ароматических углеводородов, хлорорганические производные углеводородов и фталатов. Обращает на себя внимание значительный вклад спиртов в суммарное загрязнение воздушной среды станции (рис. 4). Спектр спиртов был представлен 12 соединениями с числом углеродных атомов (С2–С8) от этанола до 2-этилгексанола. Основной вклад в загрязнение среды спиртами вносили (этанол, пропанол, изопропанол, бутанол, изобутанол, циклобутанол). Периодическое увеличение содержания спиртов в воздушной среде с формированием «всплесков» концентраций создают определенное напряжение в работе системы регенерации воды из конденсата атмосферной влаги, что повышает токсический риск здоровью человека при одновременном поступлении спиртов с вдыхаемым воздухом и регенерированной питьевой водой.

Минимальное количество ЛОС по номенклатуре

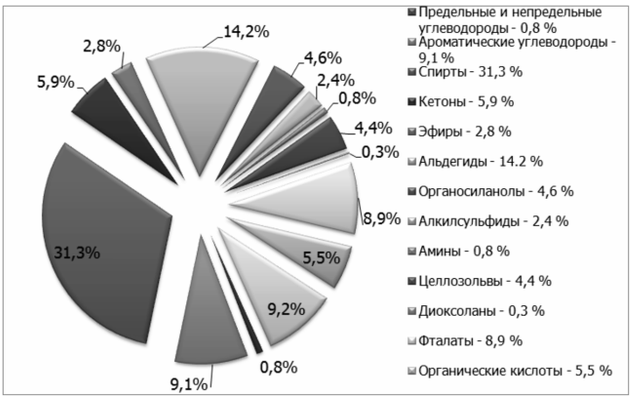

Рис. 3. Диаграмма распределения (%) детектируемых классов летучих органических соединений (МКС-17)

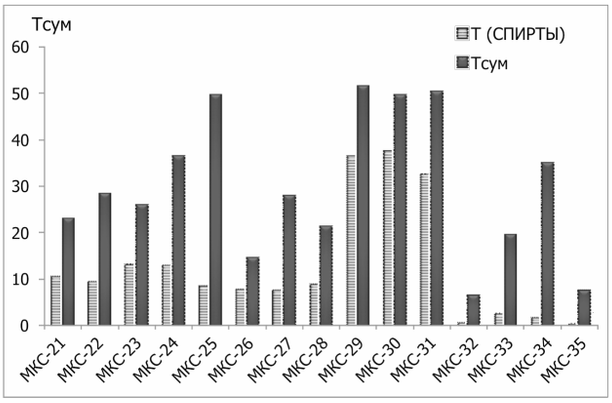

Рис. 4. Вклад спиртов в суммарную загрязненность (Тсум.) воздушной среды МКС

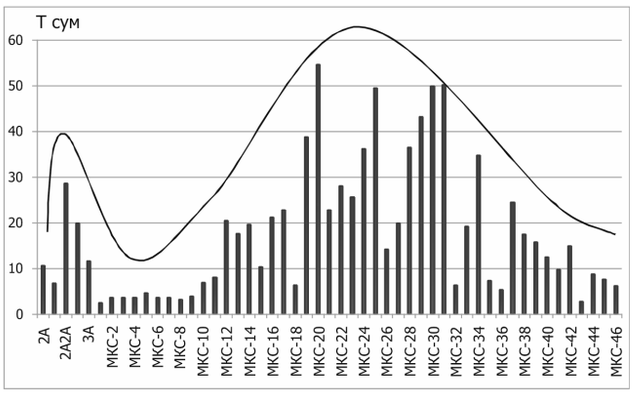

Рис. 5. Динамика суммарной загрязненности воздушной среды (Тсум.) МКС-1–46

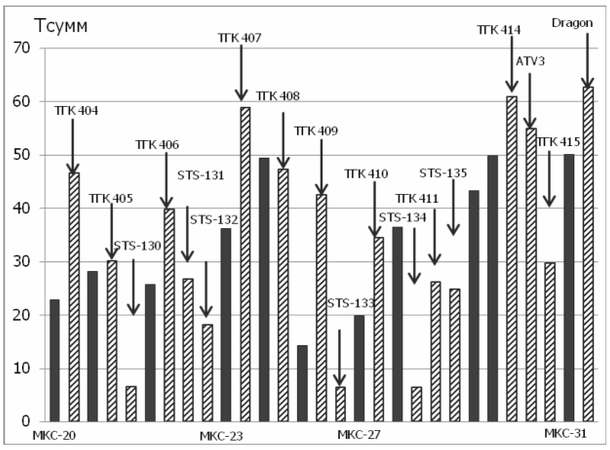

Рис. 6. Влияние смешения воздушной среды стыкующихся космических аппаратов на суммарную загрязненность воздушной среды МКС

и концентрациям обнаруживалось в период работы первых долговременных экспедиций (МКС-1–10). Уровень суммарного (Тсум.) загрязнения среды ЛОС в этот период соответствовал нормативным значениям и не превышал 10 единиц (норма 10–20 единиц). Однако по мере увеличения длительности эксплуатации, начиная с периода работы на станции экспедиции МКС–12, наблюдается постепенное увеличение показателя суммарного содержания химических веществ в воздушной среде с одновременным расширением спектра детектируемых веществ (рис. 5).

Анализ номенклатуры идентифицированных веществ показал, что величина интегрального показателя зависит в основном от количественного и качественного состава веществ, мигрирующих из полимерных материалов. При этом интенсивность газовыделений определяет тренд к увеличению загрязненности воздушной среды. Исследование суммарной загрязненности среды МКС показало, что смешение воздушной среды станции и новых модулей и газовыделение из неметаллических материалов, доставляемых в составе грузов, являются дополнительными источниками загрязнения воздушной среды станции, формируя «всплески» концентраций ЛОС (рис. 6).

Гигиеническая оценка детектированных ЛОС проводилась по $ПДК_{ПКА}$ как по основным критериями безопасности среды для человека с учетом комбинированного воздействия веществ в смеси (рис. 7, А, Б, В). Систематизация результатов химико-аналитических исследований и токсикологической оценки вклада (%) каждого вещества с учетом величины $ПДК_{ПКА}$ позволила разделить общий химический фон воздушной среды МКС на 3 функциональных группы.

Первую группу составляют вещества, постоянно присутствующие в воздушной среде МКС в концентрациях на порядок ниже $ПДК_{ПКА}$ и в следовых количествах. Это преимущественно малоопасные

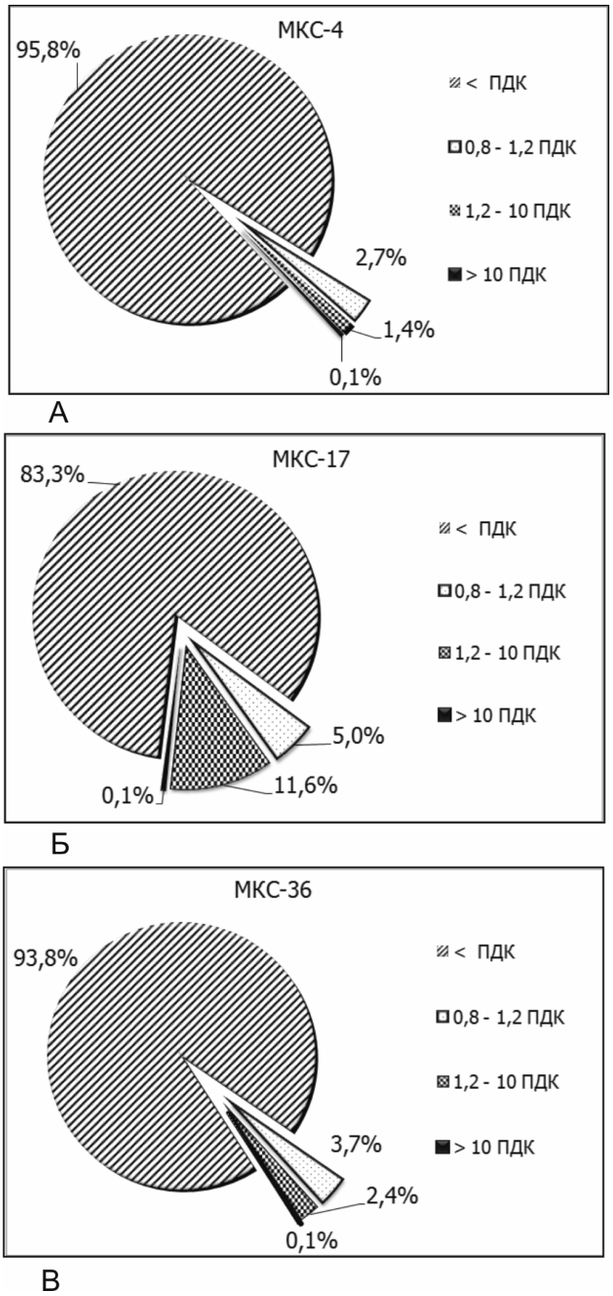

Рис. 7. Количественное распределение химических веществ по токсиколого-гигиенической значимости: А – МКС-4; Б – МКС-17; В – МКС-36

(4-й класс опасности) вещества, которые формируют «постоянный» химический фон (бионейтральный уровень) и в указанных концентрациях не оказывают аддитивного эффекта при комбинированном воздействии в смеси [11, 12]. Вклад этой группы веществ в суммарное загрязнение среды в различные периоды эксплуатации МКС составлял от 83,3 до 95,8 %.

Вторую группу составили вещества в концентрациях на уровне и превышающие $ПДК_{ПКА}$,

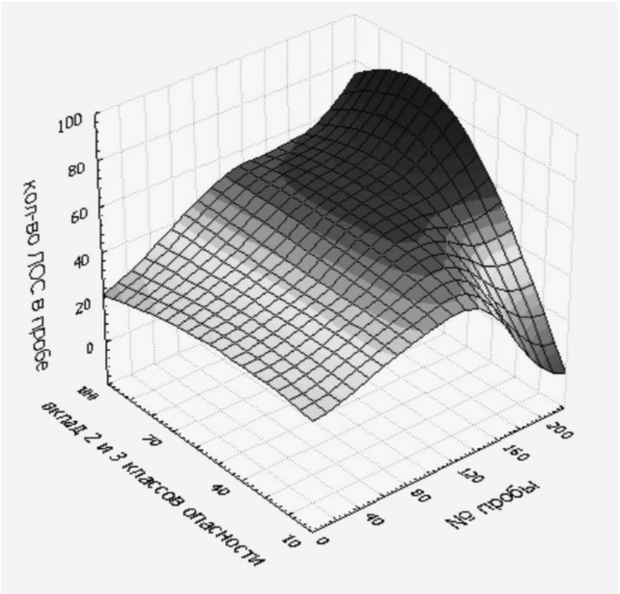

Рис. 8. Связь между длительностью эксплуатации МКС и количеством идентифицированных ЛОС в пробе воздуха

подлежащие токсикологической оценке. Эта группа веществ разделена на 2 подгруппы.

Химические соединения, определяемые в концентрациях 1–1,5 $ПДК_{ПКА}$, вклад которых в суммарное загрязнение составлял от 2,7 до 5 % от общего числа идентифицированных химических веществ. Вещества этой группы отнесены к «пороговому» уровню чувствительности человека, учитывая комбинированное воздействие их смеси, что не исключает возможность суммирования биоэффекта, и, следовательно, интегральная химическая нагрузка на организм человека будет выше, по сравнению с «бионейтральным» уровнем.

Химические соединения, формирующие «допустимый» уровень (или уровень допустимого риска) периодически превышающие нормативы на порядок и более формируют «всплески» концентраций, детектируются до 0,1 % от общего числа идентифицированных химических веществ. Результаты мониторинга показали, что «всплески» концентраций химических веществ формируются в основном при смешении воздуха станции и стыкующихся модулей, насыщенных неметаллическими материалами и техническими средствами (см. рис. 6).

Токсикологическая оценка ЛОС проводилась по основному критерию степени опасности веществ согласно классификации ГОСТ 12.1.007.

При токсиколого-гигиенической оценке значимости веществ, впервые обнаруженных в воздушной среде МКС, установлено, что в 30 % проанализированных проб воздуха определялись высоколетучие фталаты, обладающие выраженным сенсибилизирующим действием. Значительно расширился спектр насыщенных алифатических альдегидов

(октаналь, нонаналь, деканаль), обладающих раздражающим и резорбтивным действием, вклад которых в загрязнение среды составил 1,2 %. Состав летучих органических соединений пополнился широким спектром высоко и умеренно опасных веществ: спирты, ароматические углеводороды и хлорорганические производные углеводородов, органосиланолы, алкилсульфиды.

Анализ взаимосвязи количества идентифицированных ЛОС в пробах воздушной среды МКС и длительности эксплуатации станции показал сильную статистически значимую положительную связь (коэффициент Спирмена $r = 0{,}89$ при $p < 0.01$), что позволяет прогнозировать дальнейшее расширение спектра и увеличение количества вновь идентифицируемых ЛОС, по мере увеличения длительности эксплуатации станции (рис. 8).

Выводы

Экспериментально обосновано, что формирование многокомпонентного состава химических веществ в воздушной среде пилотируемых космических станций соответствует следующим закономерностям:

– логнормальный характер распределения измеренных концентраций химических веществ, при котором среднеарифметическое значение в исследованных распределениях в среднем соответствует 70-му перцентилю;

– динамичность количественного и качественного состава химических веществ;

– периодическое формирование «всплесков» пиковых концентраций веществ с превышением на порядок и более соответствующих нормативных требований.

Показана сильная статистически значимая положительная связь (коэффициент Спирмена $r = 0{,}89$ при $p < 0.01$) между длительностью эксплуатации станции и количеством идентифицированных ЛОС в пробе воздуха, что позволяет прогнозировать дальнейшее расширение спектра и увеличение количества вновь идентифицируемых ЛОС при увеличении продолжительности функционирования станции.

Гигиеническая оценка многокомпонентного состава воздушной среды станции проводится по следующим показателям: бионейтральный (постоянный) химический фон, пороговый уровень и уровень допустимого риска. Токсикологическую значимость представляют летучие органические соединения, формирующие пороговый уровень и уровень допустимого риска, представленные в основном высоко и умеренно опасными веществами, вклад которых в суммарное загрязнение среды составляет от 2,7 до 5 % от общего количества детектируемых веществ.

Список литературы

1. *Мухамедиева Л.Н., Богомолов В.В.* Характеристика токсических рисков загрязнения химическими примесями воздушной среды пилотируемых орбитальных станций // Авиакосм. и экол. мед. 2009. Т. 43. № 3. С. 17–23.

Mukhamadieva L.N., Bogomolov V.V. Characteristic of toxic risks of air pollution by chemical admixtures aboard the piloted stations // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2009. V. 43. № 3. P. 17–23.

2. *Pakhomova A.A., Mukhamedieva L.N.* Hygienic aspects of management and estimation of the ISS air environment quality in conditions of the international cooperation // 17th IAA Human in Space Symposium. (Moscow, June 7–11, 2009).

3. *Мухамедиева Л.Н., Гузенберг А.С., Юргин А.В., Пахомова А.А.* Медико-технические аспекты обеспечения качества воздушной среды пилотируемых орбитальных станций (основные итоги и пути совершенствования) // Пилотируемые полеты в космос. Матер. XI международной научно-практической конференции. (Звездный городок, 10–12 ноября 2015 г.) М., 2015. С. 177–179.

Pakhomova A.A., Guzenberg A.S., Yurgin A.V., Mukhamedieva L.N. Medical and technical aspects of air quality of piloted orbital stations (the main results and ways to improve) // Piloted space flights. Proc. XI International scientific and practical conference. (Star City, November 10–12 2015). Moscow, 2015. P. 177–179.

4. *Пахомова А.А., Царьков Д.С., Юргин А.В., Смирнов Ю.И.* Гигиеническая характеристика факторов, определяющих уровень химических веществ, загрязняющих воздух орбитальных станций // Там же. С. 167–168.

Pakhomova A.A., Tsar'kov D.S., Yurgin A.V., Smirnov Yu.I. Hygienic characteristic of the factors determining the level of chemicals contaminating air on space stations // Ibid. P. 167–168.

5. *Мухамедиева Л.Н.* Концепция гигиенической оценки многокомпонентного загрязнения химическими соединениями воздушной среды пилотируемых орбитальных станций // Авиакосм. и экол. мед. 2005. Т. 39. № 1. С. 14–19.

Mukhamedieva L.N. The concept of hygienic evaluation of multicomponent chemical contamination of air on piloted orbital station // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2005. V. 39. № 1. P. 14–19.

6. Методические рекомендации по определению реальной нагрузки на человека химических веществ, поступающих с атмосферным воздухом, водой и пищевыми продуктами. № 2983-84 Утв. нач. главного сан. Упр. МЗ СССР 23 марта 1984 г.

Methodological recommendations for determining the actual load of chemicals coming from the atmospheric air, water and food on man. № 2983-84 Approved by the Chief of the health management of MH USSR, March 23 1984.

7. *Бескопыльный И.Н.* Методические подходы к установлению реальной нагрузки воздействия на

человека группы сходных по химической структуре соединений // Гиг. и сан. 1986. № 11. С. 11–14.

Beskopyl'ny I.N. Methodological approaches to the establishment of a real load on human a group similar in chemical structure of compounds // Gigiena i sanitariya. 1986. № 11. P. 11–14.

8. *Боровиков В.П.* Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. М., 2012.

Borovikov V.P. A popular introduction to modern data analysis system STATISTICA. Moscow, 2012.

9. *Куприенко Н.В., Пономарева О.А., Тихонов Д.В.* Статистика. Методы анализа распределений. Выборочное наблюдение: Учеб. пос. 3-е изд. СПб., 2009.

Kuprienko N.V., Ponomareva O.A., Tikhonov D.V. Statistics. Methods of distribution analysis. Selective observation: Manual. 3rd ed. St. Petersburg, 2009.

10. *Озеров Д.С., Носовский А.М., Мухамедиева Л.Н. и др.* Статистические закономерности распределения концентраций вредных веществ в воздухе пилотируемых орбитальных станций // Космическая техника и технологии. 2016. №1 (12). С. 104–111.

Ozerov D.S., Nosovsky A.M., Mukhamedieva L.N. Statistical patterns of distribution of harmful substances concentrations in the air on piloted orbital stations // Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii. 2016. №1 (12). P. 104–111.

11. *Мухамедиева Л.Н.* Закономерности формирования и гигиеническое регламентирование многокомпонентного загрязнения воздушной среды пилотируемых орбитальных станций: Автореф. дис. … д-ра мед. наук. М., 2003.

Mukhamedieva L.N. Mechanisms of formation and hygienic regulation of multicomponent contamination of air on piloted orbital station: Avtoreferat dissertatsii … doktora meditsinskikh nauk. Moscow, 2003.

12. *Пинигин М.А.* Классификация атмосферных загрязнений по степени их опасности // ПДК атмосферных загрязнений как критерий безопасности воздействия промышленных выбросов на здоровье населения. Пермь, 1975.

Pinigin M.A. Classification of air pollutions in their degree of danger // MPC of atmospheric pollution as a safety criterion for the impact of industrial emissions on public health. Perm'. 1975.

Поступила 08.06.2016

DESCRIPTION OF THE CHEMICAL MAKE-UP OF AIR ON THE INTERNATIONAL SPACE STATION

Pakhomova A.A., Ozerov D.S., Tsarkov D.S., Khorosheva E.G., Mukhamedieva L.N.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 1. P. 56–62

Results of the 15-year monitoring volatile organic compounds in air of the International space station have been analyzed. Statistical data treatment demonstrated lognormal distribution of airborne harmful admixtures. The arithmetical mean value in distributions under study amounts to the 70th percentile on the average which must be taken into account in defining the hygienic air quality standards for piloted space stations.

It was shown that with the extension of space station operating life the air total chemical contamination gradually builds up and diversity and toxicity of compounds increase.

Key words: piloted orbital station, evolution of air chemical make-up, chemical analytical monitoring of air, integral air quality index, hygienic rating of multicomponent air contamination, lognormal distribution.

ИНФОРМАЦИЯ

УДК 612.881

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ТРЕНИРОВКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТИРОВКИ ЛЕТЧИКОВ

Благинин А.А., Синельников С.Н., Ляшедько С.П.

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

E-mail: lyashedko.semen@gmail.com

Приведен анализ статистики авиационных происшествий, основной причиной возникновения которых явились случаи пространственной дезориентации (ПД) летчиков в полете. Рассмотрены системы психофизиологической подготовки в различных странах по вопросам ПД, иллюзиям пространственного положения и связанных с ними авиационных происшествий. Обосновывается необходимость психофизиологической подготовки летного состава для повышения безопасности полетов. Приведены примеры современных специализированных тренажеров ПД, используемых в ВВС США, странах НАТО, и российские перспективные решения.

Ключевые слова: иллюзия, дезориентация, пространственное положение, межсенсорный конфликт, зрительный анализатор, вестибулярный анализатор, проприоцептивный анализатор, восприятие, тренажерная подготовка, полеты «под шторкой».

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 1. С. 63–67.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-63-67

Пространственная дезориентация (ПД) является существенной причиной возникновения авиационных происшествий (АП), несмотря на совершенствование авиационной техники, позволяющей многие операции выполнять в автоматическом режиме. Исследователи в своих анализах аварийности на авиационном транспорте связывают до 70–80 % всех тяжелых происшествий с человеческим фактором [1].

Пространственная дезориентация возникает, как правило, при возникновении у летчика иллюзий пространственного положения при полетах в сложных метеоусловиях (СМУ), ночных полетах, полетах над безориентирной местностью, а также при активном маневрировании.

Анализ статистики АП за последние 3 десятилетия показывает, что проблема АП, связанных с явлением иллюзий пространственного положения остается актуальной, несмотря на прилагаемые усилия по их профилактике. Так, в ВВС США за период с 1990 по 2004 г. было выявлено, что частота встречаемости инцидентов с участием ПД составляла 11 %, из которых 69 % инцидентов заканчиваются смертельным исходом [2], а за период с 2000 по 2009 г., средняя частота авиационных происшествий с явлением ПД составляла 1,29 на 100 тыс. ч налета [3].

По данным других исследователей в ВВС США в период с 1993 по 2013 г. на долю всех случаев возникновения пространственной дезориентации летчиков в полете выпадало 12 % всех АП, связанных с ущербом на сумму 1 млн долл. или более, а также имеющих летальные исходы. В общей сложности был учтен 601 случай возникновения происшествий данного класса, в том числе 72 случая АП, связанных с ПД. Средняя же частота АП с явлением ПД за этот период составила 1,6 на каждые 100 тыс. ч налета. Следует отметить, что частота АП со смертельным исходом в 2,84 раза выше в случаях с ПД, чем без них [3, 4].

Доля случаев возникновения ПД в ВВС Великобритании за период с 1990 по 2004 г. составила 25 %, из них в 21 % случаев летный состав, который пережил случай ПД, расценил это событие как значительное, а еще в 4 % случаев летный состав оценил это событие как тяжелое, связанное с риском для безопасности полетов [5]. Общая частота возникновения аварийных ситуацией, связанных с ПД, составляла 1 случай на каждые 100 тыс. ч полетов [6].

Пилоты Королевских ВВС Канады также сталкиваются в своей практике с ПД. При анализе причин АП, связанных с общей суммой потерь в 1 млн долл. или более, а также имеющих летальные исходы, было выявлено, что 23 % из них имели четкую связь с явлением ПД [7].

Изучение статистики АП ВВС некоторых европейских стран показало:

– в Чехии за период с 1985 по 2005 г. было отмечено, что 23 % от общего количества АП класса А связаны с ПД, 50 % из них со смертельным исходом, т.е. 1,6 случая на каждые 100 тыс. ч полетов приходилось на случаи ПД;

Таблица 1

Сводные данные по частоте АП, связанных с ПД

Страна	Частота АП, связанных с ПД,%	Уровень ПД (количество случаев на каждые 100 тыс. ч налета)
США	12	1,6
Великобритания	21	1,0
Канада	23	–
Германия	5	0,17
Франция	4	0,54
Нидерланды	16,7	0,3
Италия	19	0,55
Чехия	23	1,6
Греция	16,7	2,7
Россия	–	–

Таблица 2

Основные направления подготовки ВВС стран Европы по вопросам ПД

Тип тренировки по ПД	Испания	Чехия	Швеция	Греция	Италия	Германия	Австралия	Франция	Нидерланды
Теоретические занятия	ЛК	ЛК	ЛК	ЛК	ЛК	ЛК, КБ	ЛК, ОНВ	ЛК	ЛК, ОНВ
Наземная подготовка	КБ, GYRO	GYRO		DISO	КБ, DISO	DISO	КБ, GYRO	Центрифуга	КБ, GYRO, DISO
Демонстрация ПД в полете		Нет	Да		Да	Да	Нет	Нет	НСП
Предотвращение и преодоление ПД в полете	Нет	ТВНП	ВЗП	ППП, ТВНП	Нет	ТВНП, ВЗП	ВЗП	НСП	ТВНП
Периодичность подготовки, раз		5 лет		3–5 лет	5 лет	4 года	3 года	5 лет	4 года

Примечание. ЛК – лекционный курс; КБ – кресло Барани; ОНВ – очки ночного видения; GYRO – тренажер ПД, производства AMTI; DISO – тренажер ПД, производства AMST; DESDEMONA – тренажер ПД, производства AMST; ЦФ – центрифуга; ППП – полеты по приборам; ТВНП – тренировка выхода (воздушного судна) из необычного положения; НСП – нет стандартизированного подхода; ВЗП – восстановление заданного положения (воздушного судна) в полете.

– в Италии за период с 1993 по 2004 г. частота авиационных происшествий с ПД, составила 19 %, т.е. 0,55 случая на каждые 100 тыс. ч полетов приходилось на случаи ПД;

– в Нидерландах за период с 1980 по 2005 г. частота АП с ПД составила 16,7 %, т.е. 1,0 случая на каждые 100 тыс. ч полетов приходилось на случаи ПД (период 1980–1995 гг.), в последующем этот показатель значительно снизился до 0,3 (период 1996–2005 гг.);

– во Франции за период 2000 по 2004 г. частота АП с ПД, составила 4 %, т.е. 0,54 случая на каждые 100 тыс. ч полетов приходилось на случаи ПД;

– в Германии за период 1995 по 2006 г. частота АП с ПД составила 5 %, т.е. 0,17 случая на каждые 100 тыс. ч полетов приходилось на случаи ПД;

– в Греции за период с 1990 по 2005 г. частота АП с ПД, составила 16,7 %, т.е. 2,7 случая на каждые 100 тыс. ч полетов приходилось на случаи ПД [8].

В России при анализе АП используется другой подход к классификации их причин (факторов), при котором случаи АП, связанные с иллюзиями пространственного положения и ПД, относятся к нарушениям (упущениям) личного состава при организации, производстве, управлении или обеспечении полетов, что значительно затрудняет статистический и сравнительный анализ с данными зарубежных исследователей (табл. 1).

При выполнении полета летчик может испытывать весьма широкий спектр иллюзий пространственного положения, часть из которых хорошо изучены, а другие до сих пор в полной мере не исследованы и требуют к себе дополнительного внимания. Причина этого заключается в том, что такие иллюзии пространственного положения значительно влияют на поддержание правильного положения самолета в пространстве, поэтому оказывают на летный состав настолько сильное эмоциональное и психологическое воздействие, что летчики не сообщают о них, даже при анонимном анкетировании [9].

Иллюзии пространственного положения, 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 (часто на уровнях их порогового восприятия) и зрительных стимулов, не связанных с четкими наземными ориентирами [9].

Начиная с 60-х годов XX в. иллюзии пространственного положения стали рассматривать как результат изменения во взаимодействии анализаторов, контролирующих восприятие пространства, т.е. межсенсорного конфликта в основном между зрительным, вестибулярным и кинестетическим анализаторами, эта точка зрения до сих пор является ведущей [10]. В полете по приборам в связи с отсутствием видимости горизонта поступление зрительной информации ограниченно и возникают предпосылки для доминирования других анализаторов. При этом при эксплуатации многих летательных аппаратов у летчиков оказываемое воздействие являлось подпороговым для рецепторов полукружных каналов вестибулярного анализатора, а рецепторы отолитовых органов, тактильные и проприоцепторы принимают перегрузку за направление силы вектора тяжести, иначе говоря, летчик в полете может результирующую силу перегрузки, направленную от головы к тазу, принять за точку опоры [11].

Современные исследования зарубежных специалистов авиационной медицины позволяют выделить несколько основных подходов воздействия на сенсорные системы летчика с целью снижения рисков возникновения ПД [12]:

– визуальные меры противодействия, к которым возможно отнести системы отображения «авиагоризонта», а также нашлемные и наголовные оптические дисплеи, позволяющие повысить степень ситуационной осведомленности;

– вестибулярные меры противодействия включают всевозможные тренировки вестибулярной устойчивости, а также гальваническую вестибулярную стимуляцию, применяемую в основном в целях реабилитации космонавтов после приземления. Однако имеются данные, свидетельствующие о негативном влиянии подобного рода воздействий на качество операторской деятельности в момент приземления [13];

– звуковые меры противодействия, включающие звуковые системы для связи и передачи предупреждающей информации, дальнейшим развитием которых стало появление трехмерных аудиодисплеев, создающих виртуальные источники звука, позволяющие посредством наушников передавать информацию об окружающей обстановке и градиенте нарастания скорости, а также крена;

– соматосенсорные меры противодействия, подразумевающие использование вибромеханических систем тактильного отображения с расположением нескольких датчиков на большом пальце, предплечье либо встроенных в шлем. Подобные системы позволяют передавать информацию о скорости самолета, угле атаки и высоты.

Наиболее перспективным кажется подход автора работы [14], который разработал прототип мультисенсорной системы SORD (Spatial Orientation Retention Device), включающей 3 компонента: тактильную систему отображения; трехмерный аудиодисплей; нашлемный оптический дисплей. Подобная система получила положительные отзывы в ходе испытаний [15].

Важно понимать, что ПД летчика не является патологическим состоянием или следствием заболевания. Она может развиться у любого здорового человека, который подвергается воздействию несвойственным в обычной жизни факторам полета. Развитие иллюзий пространственного положения обусловлено нормальным функционированием сенсорных систем в необычных условиях стимуляции, а развитие ПД – неспособностью летчика распознать неверную физиологическую сенсорную информацию и встроить ее в образ полета [9].

На сегодняшний день в мире существует различная практика психофизиологической подготовки летчиков по вопросам пространственной ориентации и иллюзиям пространственного положения. Так, в странах НАТО выделяют наземную подготовку, подготовку во время проведения полетов, подготовку во время проведения полетов с использованием приборов ночного видения (табл. 2) [8].

Наземная подготовка проводится с использованием современных тренажеров. Опыт использования подобных тренажеров был проанализирован и показал их эффективность для подготовки летчиков к полетам [16]:

1. В США на базе Исследовательского института авиационной медицины (AMTI) проводятся 1–2-дневные специальные практические занятия по профилактике ПД, включающие в себя как теоретические занятия, так и практическое изучение ПД с

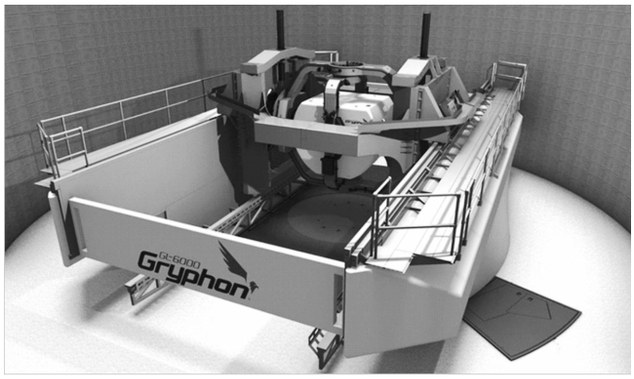

Рис. 1. Тренажер пространственной дезориентации GL-6000 Gryphon

Рис. 2. Тренажер пространственной дезориентации DESDEMONA

применением тренажеров пространственной ориентации производства Aircrew Training Systems (ATS) (рис. 1).

2. В Австрии на базе Austria Metall Systemtechnik (AMST) с использованием тренажеров пространственной ориентации собственного производства (рис. 2) ведется профилактика случаев ПД.

Воздушный Координационный комитет по стандартизации США (ASCC) в своем информационном бюллетене рекомендует проводить занятия по профилактике ПД каждые 3–5 лет [17].

В ВКС РФ подготовка летного состава по вопросам пространственной ориентировки включает предварительный профотбор, психофизиологическую подготовку в училище (с формированием образа полета), занятия по авиационной медицине с изучением вопросов возникновения иллюзий пространственного положения и ПД, выполнение инструкторских полетов «под шторкой» в сложных метеоусловиях. Также в наземных условиях проводится специальная пассивная и активная подготовка, направленная на повышение вестибулярной устойчивости.

Пассивная тренировка включает в себя упражнения на различных вращающихся установках, качелях и др., например, вращение на кресле Барани, преимущественно для воздействия на полукружные каналы; качели на 4-штанговых качелях Хилова или обычных качелях. Сильным воздействием является сочетание оборотов на кресле Барани с одновременными наклонами (наклон – выпрямление в течение 1 поворота на 360°; всего 10 поворотов и 10 наклонов с выпрямлениями). Могут использоваться кресла Барани на качающихся платформах или смонтированные на качелях Хилова.

К активной тренировке можно отнести следующие физические упражнения: различные вольные упражнения, с помощью которых создаются угловые и прямолинейные ускорения, воздействующие на вестибулярный аппарат (повороты, обороты, наклоны, прыжки, приседания, и все это в разных сочетаниях); ходьба и бег с поворотами и вращением головы; различные акробатические упражнения (кувырки, перевороты, перекаты, стойки, парные упражнения, стойки на голове и др.); упражнения на специальных снарядах (на батуте, колесе на подвесках, на лопинге с вращающейся рамой, ренском колесе или широком ренском колесе, внутри которого смонтирована вращающаяся рама от лопинга; упражнения на гимнастических снарядах (обороты завесом или верхом на перекладине, обороты и повороты на брусьях, наклоны, висы и др.); акробатические упражнения в воде и различные прыжки в воду.

Стендовая подготовка по этому направлению в России находится в процессе развития, создание специализированных стендов-тренажеров является перспективным направлением развития авиационной и космической медицины. В настоящий момент активно разрабатывается первый в России тренажер пространственной дезориентации консольного типа. Проектируемый тренажер будет иметь возможность движения по 3 осям перемещения с изменяемыми характеристиками ускорения и вращения, а также высококачественного отображения изменяемой окружающей обстановки, что позволит в достаточной мере имитировать основные иллюзии пространственного положения.

Выводы

Статистика АП со случаями ПД показала, что данная проблема остается актуальной, несмотря на продолжающееся техническое совершенствование авиационной техники. Вероятно, причину ее постоянства необходимо искать в самом человеке, психофизиологические возможности которого имеют свои резервы. Исходя из всего вышеуказанного, становится ясно, что проблема нарушения пространственной ориентированности требует внимания со стороны специалистов авиационной медицины. Современные подходы к решению этой

проблемы можно условно разделить на 2 большие группы: 1-я – меры противодействия, применяемые непосредственно в полете, позволяющие летчику улучшить ситуационную осведомленность о режимах полета; 2-я – комплекс мероприятий наземной подготовки, включающий ознакомление летного состава с особенностями процесса пространственной ориентированности, а также практическое ознакомление с наиболее часто возникающими иллюзиями пространственного положения, связанными с ними ПД, с использованием современных специализированных тренажеров ПД.

Список литературы

1. *Wiegmann D.A., Shappell S.A.* A human error analysis of commercial aviation accidents using the human factors analysis and classification system (HFACS) // U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. Washington, D.C., 2011. P. 12.
2. *Lyons T.J., Ercoline W., O'Toole K., Grayson K.* Aircraft and related factors in crashes involving spatial disorientation: 15 years of U.S. Air Force data // Aviat. Space Environ. Med. 2006. V. 77. № 7. P. 720–723.
3. *Gibb R., Ercoline B., Scharff L.* Spatial disorientation: decades of pilot fatalities // Ibid. 2011. V. 82. № 7. P. 722–723.
4. *Poisson R.J. III, Miller M.E.* Spatial disorientation mishap trends in the U.S. Air Force 1993–2013 // Ibid. 2014. V. 85. № 9. P. 919–924.
5. *Holmes S.R., Bunting A., Lex B. et al.* Survey of spatial disorientation in military pilots and navigators // Ibid. 2003. V. 74. № 9. P. 957–965.
6. *Bushby A., Holmes S., Bunting A.* An assessment of the influence of spatial disorientation upon British military aircraft accidents from 1983 to 2002 // Ibid. 2005. V. 76. № 3. P. 256.
7. *Cheung B.* Spatial disorientation: more than just illusion // Ibid. 2013. V. 84. № 11. P. 1211–1214.
8. *Bles W.* Spatial disorientation training – demonstration and avoidance // Rto Technical Report (RTO-TR-HFM-118), Final Report of Task Group TG-039. 2008. Soesterberg. Netherlands. P. 9–22.
9. *Чистов С.Д., Филатов В.Н., Хоменко М.Н.* Иллюзии пространственного положения в маневренных полетах // Проблемы безопасности полетов (Науч.-техн. журн.). 2014. № 5. С. 26–27.

Chistov S.D., Filatov V.N., Khomenko M.N. Illusions of spatial position in maneuverable flights // Problemy bezopasnosti poletov (Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2014. № 5. P. 26–27.

10. *Коваленко П.А., Пономаренко В.А., Чунтул А.В.* Учение об иллюзиях полета. Основы авиационной делиалогии. М., 2007. С. 376.

Kovalenko P.A., Ponomarenko V.A., Chuntul A.V. Doctrine of flight illusions. Fundamentals of aviation delialogy. Moscow, 2007.

11. *Жданько И.М., Коваленко П.А.* Кажущиеся движения в пространственной ориентировке летчиков. М., 2015.

Zhdan'ko I.M., Kovalenko P.A. The apparent movement in the spatial orientation in pilots. Moscow, 2015.

12. *Paillard A.C., Quarck G., Denise P.* Sensorial countermeasures for vestibular spatial disorientation // Aviat. Space Environ. Med. 2014. V. 85. № 5. P. 563–567.
13. *Clément G., Deguine O., Bourg M., Pavy-LeTraon A.* Effects of vestibular training on motion sickness, nystagmus, and subjective vertical // J. Vest. Res. 2007. № 17. P. 227–237.
14. *Albery W.B.* Multisensory cueing for enhancing orientation information during flight // Aviat. Space Environ. Med. 2007. V. 78. № 5. P. 186–190.
15. *Guzy L.T., Albery W.B., Goodyear C.* Vibrotactile stimulators and virtual 3-D audio countermeasures, training and motion sickness symptoms with a simulated graveyard spin illusion // J. Vest. Res. 2008. № 18. P. 287–294.
16. *Powell-Dunford N., Bushby A., Leland R.A.* Spatial disorientation training in the rotor wing flight simulator // Aerosp. Med. Hum. Perform. 2016. V. 87. № 10. P. 890–893.
17. Spatial disorientation training curricula (INFO PUB 61/117/08) // Air Standardization Coordinating Committee (ASCC). Arlington. V.A., 2002. P. 24.

Поступила 04.03.2016

STATE-OF-THE-ART AND PROBLEMS OF SPATIAL ORIENTATION TRAINING OF PILOTS

Blaguinin A.A., Sinelnikov S.N., Liashedko S.P.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 1. P. 63–67

Analysis of the frequency of air accidents with the main reason being pilot's spatial disorientation was performed. Programs of pilots' psychophysiological training for spatial orientation development adopted in other countries were reviewed. Arguments are presented for psychophysiological training as a means to increase flight safety. Examples of modern simulators used in the US and NATO Air Forces for pilot's orientation training are provided; Russian views on the problem are outlined.

Key words: illusion, disorientation, spatial positioning, intersensory conflict, visual analyzer, vestibular analyzer, proprioceptive analyzer, perception, simulator-based training, flying with window blinds closed («hooded» flight).

УДК 004:613.693

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ВРАЧЕЙ ПО АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ

Иванов И.В.[1, 2], Праскурничий Е.А.[3]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва
[2]Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава РФ
[3]Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава РФ, Москва

E-mail: ivanov-iv@yandex.ru

Излагаются результаты анализа и систематизации интернет-ресурсов, используемых при подготовке врачей-специалистов по авиационной и космической медицине в системе высшего медицинского образования Российской Федерации. Представленный материал направлен на обеспечение успешности обучения с учетом требований, установленных Федеральным государственным образовательным стандартом по данной специальности.

Ключевые слова: авиационная и космическая медицина, высшее медицинское образование, обучение врачей по авиационной и космической медицине, профессиональные компетенции, интернет-ресурсы.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 1. С. 68–76.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-68-76

Подготовка врачей по авиационной и космической медицине проводится посредством реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки кадров высшей квалификации в ординатуре (120 зачетных единиц, или 4320 учебных часов, с выдачей диплома об окончании ординатуры), а также в рамках дополнительного профессионального образования. Дополнительное профессиональное образование осуществляется посредством реализации дополнительных профессиональных программ: программ профессиональной переподготовки (свыше 250 учебных часов с выдачей диплома о профессиональной переподготовке) и программ повышения квалификации (от 16 до 250 учебных часов с выдачей удостоверения о повышении квалификации). Реализация программ ординатуры и профессиональной переподготовки направлена на получение знаний, необходимых для выполнения нового вида профессиональной деятельности, на приобретение новой квалификации. Реализация программ повышения квалификации направлена на совершенствование и (или) получение знаний и навыков, необходимых для профессиональной деятельности, и (или) повышение профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации.

В соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) по специальности 31.08.25 – «Авиационная и космическая медицина» [1] выпускники, осваивающие программу ординатуры, готовятся к следующим видам профессиональной деятельности: профилактическая, диагностическая, лечебная, реабилитационная, психолого-педагогическая, организационно-управленческая.

Необходимость доступа обучающихся к современным достижениям авиационной и космической медицины повышает актуальность включения в образовательный процесс интернет-ресурсов. Это связано с тем, что информация в учебниках и учебно-методических пособиях достаточно часто устаревает даже к моменту выхода в свет, что еще более заметно по отношению к достаточно редким изданиям, руководствам, учебникам и учебным пособиям [2–7]. Применительно к специальности 31.08.25 – «Авиационная и космическая медицина» дела обстоят таким образом, что часть из них после 1984–1995 гг. вообще не переиздавалась [8–11]. В то же время в соответствии с требованиями ФГОС к условиям реализации программы ординатуры каждый обучающийся должен быть обеспечен в течение всего периода обучения доступом к информационно-телекоммуникационной сети Интернет для индивидуального неограниченного пользования электронно-библиотечными системами (электронными библиотеками) и ресурсами электронной информационно-образовательной среды учебной организации. Однако в должной мере и в контексте потребностей современной высокотехнологичной медицины вопросы использования новых технологий информационного поиска и дистанционных методов освоения авиационной и космической медицины не обсуждались.

Цель работы состояла в анализе и систематизации интернет-ресурсов, пригодных для использования в системе высшего медицинского образования при подготовке и переподготовке врачей по специальности «Авиационная и космическая медицина».

Таблица 1

Требования к компетенциям выпускника при освоении программы ординатуры по специальности 31.08.25 – «Авиационная и космическая медицина»

Вид компетенций	Шифр компетенции	Содержание компетенции
Универсальные	УК-1	Готовность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу
	УК-2	Готовность к управлению коллективом, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	УК-3	Готовность к участию в педагогической деятельности по программам среднего и высшего медицинского образования или среднего и высшего фармацевтического образования, а также по дополнительным профессиональным программам для лиц, имеющих среднее профессиональное или высшее образование, в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере здравоохранения
Профессиональные:		
в профилактической деятельности	ПК-1	Готовность к осуществлению комплекса мероприятий, направленных на сохранение и укрепление здоровья лиц, связанных с авиационной и (или) космической деятельностью, включающих в себя формирование здорового образа жизни, предупреждение возникновения и (или) распространения заболеваний, их раннюю диагностику, выявление причин и условий их возникновения и развития, а также направленных на устранение вредного влияния на здоровье человека факторов среды его обитания
	ПК-2	Готовность к проведению профилактических медицинских осмотров, диспансеризации и осуществлению диспансерного наблюдения
	ПК-3	Готовность к проведению противоэпидемических мероприятий, организации защиты населения в очагах особо опасных инфекций, при ухудшении радиационной обстановки, стихийных бедствиях и иных чрезвычайных ситуациях
	ПК-4	Готовность к применению социально-гигиенических методик сбора и медико-статистического анализа информации о показателях здоровья взрослых и подростков
в диагностической деятельности	ПК-5	Готовность к определению у пациентов патологических состояний, симптомов, синдромов заболеваний, нозологических форм в соответствии с Международной статистической классификацией болезней и проблем, связанных со здоровьем
в лечебной деятельности	ПК-6	Готовность к ведению и лечению пациентов с заболеваниями, связанными с авиационной и (или) космической деятельностью
	ПК-7	Готовность к оказанию медицинской помощи при чрезвычайных ситуациях, в том числе участию в медицинской эвакуации
в реабилитационной деятельности	ПК-8	Готовность к применению природных лечебных факторов, лекарственной, немедикаментозной терапии и других методов у пациентов, нуждающихся в медицинской реабилитации
в психолого-педагогической деятельности	ПК-9	Готовность к формированию у населения, пациентов и членов их семей мотивации, направленной на сохранение и укрепление своего здоровья и здоровья окружающих
в организационно-управленческой деятельности	ПК-10	Готовность к применению основных принципов организации и управления в сфере охраны здоровья граждан, в медицинских организациях и их структурных подразделениях
	ПК-11	Готовность к участию в оценке качества оказания медицинской помощи с использованием основных медико-статистических показателей
	ПК-12	Готовность к организации медицинской помощи при чрезвычайных ситуациях, в том числе медицинской эвакуации

При формировании взглядов на состав интернет-ресурсов авторы исходили из требований ФГОС по формированию у выпускника ординатуры профессиональных знаний при освоении одной из программ подготовки кадров высшей квалификации по специальности 31.08.25 – «Авиационная и космическая медицина» – программы ординатуры по авиационной и космической медицине.

В табл. 1 представлены материалы, отражающие соответствие учебно-воспитательных задач по формированию требуемых компетенций выпускника ординатуры и программных требований ФГОС, в табл. 2 – направления обеспечения формирования компетенций соответствующими структурными элементами. При этом авторы исходили из современной классификации компетенций, когда в состав универсальных компетенций входят следующие виды: общенаучные, социально-личностные и общекультурные, инструментальные. Профессиональные компетенции вынесены в отдельную группу и базируются на конкретных знаниях и умениях, присущих данному виду профессиональной деятельности, а также учитывают практический опыт, накопленный в этом виде деятельности. Универсальные компетенции затронуты в том объеме, в котором они отражают ценностные установки, качества мышления, коммуникативные свойства. Освоение перечисленных компетенций происходит в процессе преподавания дисциплин базовой и вариативной частей учебного плана по специальности 31.08.25 – «Авиационная и космическая медицина».

В первую очередь внимание авторов было обращено на формирование профессиональных компетенций. Кроме профессиональной направленности, важными требованиями к веб-ресурсам, используемым в процессе обучения, являются:

– достоверность информации;
– ее актуальность (современность и злободневность);
– надежность и защищенность сайтов;
– внешний вид сайтов и удобство работы с ними.

При отборе интернет-ресурсов для образовательного процесса в области медицины обычно исходят из принципов не только информативности, но и соответствия получаемой из них информации критериям врачебной этики и профессиональных ценностей.

На наш взгляд, при написании обучающимися рефератов, дипломных работ, эссе, выполнении индивидуальных заданий, при подготовке к занятиям в интерактивной форме, семинарам и коллоквиумам могут представлять интерес интернет-ресурсы, демонстрирующие процессы математического моделирования влияния различных факторов на особенности функционирования биологических систем в условиях авиационного или космического полета. Подобные исследования, проводимые с целью решения различных частных задач в рамках медицинского обеспечения полетов [12–14], будут полезны и в образовательном процессе.

Анализ интернет-ресурсов, содержащих информацию, которая может использоваться в процессе обучения по ведущей дисциплине специальности «Авиационная и космическая медицина», позволил выделить их основные виды и распределить по формируемым компетенциям (табл. 3):

1) информационно-образовательные порталы;
2) медицинские порталы с информационными ресурсами;
3) базы данных с медико-биологическими публикациями;
4) библиотеки с онлайн-ресурсами;
5) онлайн-энциклопедии, справочники, видеохостинги, телестудии, музеи;
6) сайты отраслевых учреждений и научно-исследовательских организаций;
7) сайты кафедр по авиационной и космической медицине вузов;
8) сайты журналов по специальности и смежным областям знаний;
9) сайты, позволяющие познакомиться с моделями физиологических и патологических процессов, протекающих в организме, и с алгоритмами отработки практических навыков, сайты образовательных тестирований и онлайн-тренингов.

Можно заключить, что проведенная систематизация по видам веб-ресурсов и формируемым компетенциям направлена на достижение высокого профессионального уровня подготовки врача по авиационной и космической медицине и может рекомендоваться для использования в учебном процессе и научно-исследовательской работе на профильных кафедрах медицинских вузов и в научно-исследовательских институтах и организациях.

Выводы

1. Применение в учебном процессе интернет-технологий для информационного поиска при обучении и использование дистанционных методов ознакомления с практическими приемами выполнения врачебных манипуляций в системе формирования компетенций врача в разных областях авиационной и космической медицины – новое перспективное направление в информационно-дидактическом обеспечении учебного процесса при подготовке врача-специалиста по авиационной и космической медицине в медицинском вузе или научно-исследовательском институте.

2. При составлении рекомендуемого перечня интернет-ресурсов необходимо исходить из формируемых у выпускника в результате освоения программы ординатуры универсальных и

Таблица 2

Обеспечение формирования компетенций структурными элементами образовательной программы «Основная профессиональная образовательная программа высшего образования» – программа ординатуры по специальности 31.08.25 – «Авиационная и космическая медицина»

Коды структурных элементов образовательной программы (разделов, ГИА*)	Наименование структурных элементов образовательной программы (дисциплин, практик, ГИА*)	Перечень компетенций (шифр)
1 Б	Блок 1. Дисциплины (модули) Базовая часть	*УК-1, УК-2, УК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12*
1	*Авиационная и космическая медицина*	*УК-1, УК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-8*
2	*Общественное здоровье и здравоохранение*	*УК-1, УК-2, ПК-1, ПК-4, ПК-9, ПК-10, ПК-11*
3	*Педагогика*	*УК-1, УК-2, УК-3, ПК-9*
4	*Медицина чрезвычайных ситуаций*	*ПК-3, ПК-7, ПК-12*
5	*Патология*	*УК-1, УК-3, ПК-1, ПК-5*
1 В	Блок 1. Дисциплины (модули) Вариативная часть	*УК-2, УК-3, ПК-1, ПК-4, ПК-6, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11*
6	*Авиационная психология*	*УК-2, УК-3, ПК-1, ПК-9*
7	*Клиническая фармакология в авиационной и космической медицине*	*ПК-6, ПК-8*
8	*Методы статистического анализа в медицине*	*ПК-4, ПК-11*
9	*Телекоммуникационные технологии в здравоохранении*	*ПК-4, ПК-10*
2Б	Блок 2. Практики Базовая часть	*УК-1, УК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11*
10	*Производственная практика по авиационной и космической медицине*	*УК-1, УК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11*
11	*Симуляционный курс «Сердечно-легочная реанимация»*	*ПК-6, ПК-7*
12	*Симуляционный курс «Исследование и оценка профессионального здоровья авиационных специалистов»*	*ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-6*
2 В	Блок 2. Практики Вариативная часть	*УК-2, УК-3, ПК-1, ПК-4, ПК-6, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11*
13	*Практика по авиационной психологии*	*УК-2, УК-3, ПК-1, ПК-9*
14	*Практика по клинической фармакологии в авиационной и космической медицине*	*ПК-6, ПК-8*
15	*Практика в применении методов статистического анализа в медицине*	*ПК-4, ПК-11*
16	*Практика в применении телекоммуникационных технологий в здравоохранении*	*ПК-4, ПК-10*
3	Государственная итоговая аттестация	
17	Государственный экзамен	*УК-1, УК-2, УК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12*

Примечание. *ГИА – государственная итоговая аттестация.

Таблица 3

Интернет-ресурсы, рекомендуемые для использования в системе высшего медицинского образования при подготовке кадров высшей квалификации по специальности «Авиационная и космическая медицина»

№	Виды интернет-ресурсов	Название	Адрес в Интернете	Использование для формирования компетенций
1	Информационно-образовательные порталы	Медицина РФ	http://medicinarf.ru	*ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-6, ПК-8*
		Политех	https://polymus.ru/ru/	*ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-6, ПК-8*
		Утро космической эры	http://fcior.edu.ru/card/29893/utro-kosmicheskoy-ery.html	*УК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-6*
		Что ты знаешь о жизни и деятель-ности К.Э. Циолко-вского? Викторина**	http://fcior.edu.ru/card/29904/chto-ty-znaesh-o-zhizni-i-deyatelnosti-k-e-ciolkovskogo-viktorina.html	*УК-3*
		Все ли Вы знаете о первом полете человека в космос?**	http://fcior.edu.ru/card/29892/a-vse-li-vy-znaete-o-pervom-polete-cheloveka-v-kosmos.html	*УК-3*
		Устройство орбитальной станции «Мир»**	http://fcior.edu.ru/card/29903/ustroystvo-orbitalnoy-stancii-mir.html	*УК-3, ПК-1*
2	Медицинские порталы с информационными ресурсами	Минздрав России	https://www.rosminzdrav.ru	*УК-1, УК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-8*
		Здравоохранение в России	http://www.mzsrrf.ru	
		Портал российского врача	http://www.medvestnik.ru	
		Медицинский портал	http://medportal.ru	
		Врачи РФ	http://vrachirf.ru/concilium/new	
		Мир врача	https://mirvracha.ru	
		Врачи вместе	http://vrachivmeste.ru	
3	Базы данных с медико-биологическими публикациями	РИНЦ (Российский индекс научного цитирования)	http://elibrary.ru/defaultx.asp	*УК-1, УК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-8*
		PUBMED	http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed	
		SCOPUS*	http://www.scopus.com	
		WEB OF SCIENCE*	http://www.isiknowledge.com	
4	Библиотеки с онлайн-ресурсами (справочно-библиографическая информация и электронные версии изданий)	РГБ (Российская государственная библиотека)	http://www.rsl.ru/ru	*УК-1, УК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-8*
		БАН (Библиотека Академии наук)	http://www.rasl.ru	
		БЕН (Библиотека по естественным наукам РАН)	http://www.benran.ru	
		ЦНМБ (Центральная научная медицинская библиотека)	http://www.scsml.rssi.ru	
		ФГБУ Фундаментальная библиотека РАМН	http://www.fbramn.ru	

Продолжение табл. 3

№	Виды интернет-ресурсов	Название	Адрес в Интернете	Использование для формирования компетенций
		Федеральная электронная медицинская библиотека (ФЭМБ)	http://www.femb.ru/feml	*УК-1, УК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-8*
5	Онлайн-энциклопедии, справочники, видеохостинги, телестудии, музеи	Медицинская энциклопедия	http://enc-dic.com/enc_medicine	*УК-1, УК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-6*
		Краткая медицинская энциклопедия	http://www.golkom.ru/kme/	
		Энциклопедия лекарств – РЛС (Регистр лекарственных средств)	http://www.rlsnet.ru/	*ПК-6, ПК-8*
		Справочник лекарственных средств «Видаль»	http://www.vidal.ru/	*ПК-6, ПК-8*
		Энциклопедия «Космонавты»	http://www.tvroscosmos.ru/418/1/	*УК-1, УК-3, ПК-1, ПК-8*
		AstroNews (Новости космоса)	http://www.astronews.ru	*ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-8*
		Youtube, Видеопрезентации и видеофильмы	http://www.youtube.com – Экстремальное испытание тела перегрузкой. Что происходит с летчиком на сверхскоростном истребителе. http://www.youtube.com/watch?v=Wv-7QnuMhGs – Ударная сила: Заоблачные перегрузки. http://www.youtube.com/watch?v=2VYsfRyoR-U – Космические перегрузки. История авиационной медицины. http://www.youtube.com/watch?v=uCY24vckhbo – Космические каскадеры. http://www.youtube.com/watch?v=RVtE0pb4obM – Кафедра авиационной и космической медицины ПМГМУ им. И.М.Сеченова. http://www.youtube.com/watch?v=tLaJfXWrywc – Космическая медицина. http://www.youtube.com/watch?v=IsEej1OtC1g – Уникальный эксперимент «Марс-500». http://www.youtube.com/watch?v=C_rVwB0eKco	*УК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-8*
		Телестудия Роскосмоса	http://www.tvroscosmos.ru	
		Мемориальный музей космонавтики	http://www.space-museum.ru	
		Музей космонавтики	http://www.kosmo-museum.ru	
		История Российской Советской космонавтики	http://www.space.hobby.ru	

Продолжение табл. 3

№	Виды интернет-ресурсов	Название	Адрес в Интернете	Использование для формирования компетенций
6	Сайты отраслевых учреждений и научно-исследовательских организаций	Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос»	http://www.roscosmos.ru	*УК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-8*
		ФГБУН ГНЦ РФ –ИМБП РАН	http://www.imbp.ru	*УК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-8*
		ФГБУ «НИИЦ подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина»	http://www.gctc.ru	*УК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-8*
		ФГБНУ «НИИ медицины труда»	http://www.niimt.ru	*УК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-8*
		The Aerospace Medical Association (AsMA)	https://www.asma.org/home	*УК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-8*
		ФГБУ ГНЦ РФ «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России	http://fmbcfmba.ru	*ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-8*
		IV Международная конференция «Человек и электромагнитные поля»	http://www.biophys.ru/arxiv/conf/sarov-13	*УК-1, ПК-1, ПК-3*
7	Сайты кафедр по авиационной и космической медицине вузов	ФГБОУ ДПО «РМАПО»	https://rmapo.ru/cycles/medicalbio/169-kafedra-aviacionnoy-i-kosmicheskoy-mediciny.html	*УК-1, УК-3, ПК-1, ПК-2*
		ФГБОУ ВО «ПМГМУ им. И.М. Сеченова»	http://www.mma.ru/education/faculties/mpf/cath/avia/	
		ФГБВОУ ВО «ВМедА им. С.М. Кирова»	http://www.vmeda.org/kafedri_185.html	
8	Сайты журналов по специальности и смежным областям знаний	Авиакосмическая и экологическая медицина	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8353	*УК-3, ПК-1*
		Aviation, Space, and Environmental Medicine	http://www.ingentaconnect.com/content/asma/asem	*УК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-8*
		Медицина труда и промышленная экология	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8825	*УК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-8*
		Проблемы безопасности полетов	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9728	*УК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-8*
		Физиология человека	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8254	*УК-1, ПК-5*
		«Военно-медицинский журнал»	http://sc.mil.ru/social/media/magazine/more.htm?id=8753@morfOrgInfo;	*УК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-8*
		«Вестник Международной академии проблем человека в авиации и космонавтике»	http://www.hpvestnik.ru	*УК-1, ПК-1, ПК-6, ПК-8*
		Авиация и космонавтика	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7646	*УК-1, ПК-5*

Продолжение табл. 3

№	Виды интернет-ресурсов	Название	Адрес в Интернете	Использование для формирования компетенций
9	Сайты, позволяющие познакомиться с моделями физиологических и патологических процессов, протекающих в организме, и с алгоритмами отработки практических навыков, сайты образовательных тестирований и онлайн-тренингов	Visible Body** – сайт для интерактивного освоения основных понятий анатомии и физиологии	http://www.visiblebody.com	*ПК-1, ПК-2*
		Анимационный атлас человеческого тела**	http://chelovek-online.ru/zdorove/3dman	*ПК-1, ПК-2*
		РОСОМЕД – «Российское общество симуляционного обучения в медицине»	http://rosomed.ru	*ПК-1, ПК-2*
		ЦНПО «Центр непрерывного профессионального образования ПМГМУ им. И.М. Сеченова» – учебно-виртуальный комплекс «Mentor Medicus»*	http://www.mma.ru/education/uzentr http://rosomed.ru/centers/2	*ПК-1, ПК-2*
		Центр симуляционного обучения «ВМедА им. С.М. Кирова»	http://rosomed.ru/centers/4	*УК-3, ПК-6*
		«Всё о первой помощи»	http://allfirstaid.ru	*УК-3, ПК-6*

Примечание. * – платный ресурс; ** – компьютерная обучающая система.

профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС, а также с учетом возможностей тех информационных технологий, которые имеются в распоряжении конкретного круга пользователей.

3. Выделены отдельные виды интернет-ресурсов, содержащих релевантную информацию, которая может использоваться в процессе обучения по специальности «Авиационная и космическая медицина»: информационно-образовательные и медицинские порталы; базы данных с медико-биологическими публикациями; библиотеки с онлайн-ресурсами; онлайн-энциклопедии, справочники, видеохостинги, телестудии, музеи; сайты отраслевых учреждений и научно-исследовательских организаций, кафедр и журналов по специальности, научных конференции и симпозиумов по авиационной и космической медицине и смежным областям знаний; сайты и порталы, предоставляющие возможность образовательных тестирований, онлайн-тренингов для знакомства с приемами выполнения врачебных манипуляций в практической деятельности врача.

4. Развитие направлений использования информационных интернет-ресурсов в рамках принятого компетентностного подхода в формировании врача-специалиста в области авиационной и космической медицины представляется важным продолжить в аспекте более широкого использования зарубежных интернет-ресурсов аналогичной тематической направленности, а также интернет-ресурсов в области компьютерного моделирования и виртуального отображения в 3D-формате (виртуальной реальности) ряда важных для данной специальности физиологических процессов, в том числе реакций организма при измененной гравитационной обстановке и при измененной газовой среде, что может являться темой последующих публикаций.

Список литературы

1. Приказ Минобрнауки России от 25.08.2014 № 1067 «Об утверждении Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 31.08.25 – «Авиационная и космическая медицина (уровень подготовки кадров высшей квалификации)».

Order of Ministry of Education and Science of the Russian Federation of 25.08.2014 № 1067 «On approval of the Federal state educational standard of higher education in the specialty 08.31.25 – «Aviation and Space Medicine (level of training of highly qualified personnel)».

2. Руководство по авиационной медицине / Н.А. Разсолов, ред. М., 2006.

Manual of Aviation Medicine / N.A. Razsolov, ed. Moscow, 2006.

3. Начала авиационной и космической медицины: Учеб. пос. / И.Б. Ушаков, ред. М., 2007.

Beginnings of Aviation and Space Medicine: Textbook / I.B. Ushakov, ed. Moscow, 2007.

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

Atlas on Aviation and Space Medicine / I.B. Ushakov, V.A. Rogoznikov, eds. Moscow, 2008.

5. Радиационная гигиена для авиационных врачей / И.Б. Ушаков, ред. М., 2006.

Radiation hygiene for aviation physicians / I.B. Ushakov, ed. Moscow, 2006.

6. *Иванов И.В.* Критериальные показатели воздействия ионизирующих излучений в сублетальных и летальных дозах: Метод. пос. М., 2005.

Ivanov I.V. Criterion indices of ionizing radiation effects in sublethal doses: Methodical manual. Moscow, 2005.

7. *Ушаков И.Б., Афанасьев Р.В., Березин Г.И. и др.* Химическая безопасность в авиации. Аварийные химически-опасные вещества. Воронеж, 2005.

Ushakov I.B., Afanas'ev R.V., Berezin G.I et al. Chemical safety in aviation. Accident chemically hazardous substances. Voronezh, 2005.

8. Авиационная медицина / Н.М. Рудный, П.В. Васильев, С.А. Гозулов, ред. М., 1986.

Aviation Medicine / N.M. Rudnyi, P.V. Vasil'ev, S.A. Gozulov, eds. Moscow, 1986.

9. Авиационная медицина / Н.М. Рудный, Н.М. Копанев, ред. Л., 1984.

Aviation Medicine / N.M. Rudnyi, N.M. Kopanev, eds. Leningrad, 1984.

10. Основы космической биологии и медицины / О.Г. Газенко, А.И. Григорьев, ред. М., 1995.

Basics of space biology and medicine / O.G. Gazenko, A.I. Grigor'ev, eds. Moscow, 1995.

11. Справочник авиационного врача / С.А. Бугров, П.В. Васильев, В.А. Пономаренко, В.Ф. Токарев, ред. Кн. 1, 2. М., 1993.

The Directory of aviation physician / S.A. Bugrov, P.V. Vasil'ev, V.A. Ponomarenko, V.F. Tokarev, eds. Books 1, 2. Moscow, 1993.

12. *Климарев С.И., Зайцев К.А.* Компьютерное моделирование электродинамических процессов в СВЧ-устройстве для обеззараживания и нагрева воды в системе жизнеобеспечения экипажа космического корабля // Авиакосм. и экол. мед. 2012. № 5. Т. 46. С. 55–58.

Klimarev S.I., Zaitsev K.A. Computer modeling of electrodynamic processes in SHF-based water disinfection and heating system as a part of the spacecrew life support system // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2012. № 5. P. 55–58.

13. *Ушаков И.Б., Поляков А.В., Карпов А.А., Усов В.М.* Использование медицинской робототехники в бортовых тренажерах и биотехнических системах на орбитальной станции // Робототехника и техническая кибернетика. 2015. № 2 (7). С. 12–17.

Ushakov I.B., Polyakov A.V., Karpov A.A., Usov V.M. Medical robotics application in on-board training simulators and biotechnical compexes for on-orbital station // Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika. 2015. № 2 (7). P. 12–17.

14. *Ушаков И.Б., Карпов А.А., Крючков Б.И. и др.* Перспективные решения в области медицинской робототехники для поддержки жизнедеятельности экипажа и снижения медицинских рисков в космическом полете // Авиакосм. и экол. мед. 2015. № 6. С. 76–83.

Ushakov I.B., Karpov A.A., Kryuchkov B.I. et al. Promising options for medical robots application in support of crew life activities and mitigation of medical risks during space flight // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2015. № 6. P. 76–83.

Поступила 23.12.2015

INTERNET RESOURCES FOR EDUCATION OF SPECIALISTS IN AVIATION AND SPACE MEDICINE

Ivanov I.V., Praskurnichiy E.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 1. P. 68–76

The authors report the results of reviewing and classification of Internet learning resources available for students in aviation and space medicine within the Russian system of higher medical education. Information in the paper can help in more effective development of competencies required by a Federal State specialty-specific standard.

Key words: aviation and space medicine, higher medical education, education of specialists in aviation and space medicine, occupational competencies, Internet resources.

К 50-летию журнала «Авиакосмическая и экологическая медицина»

В середине 1960-х годов в связи с накоплением и обобщением научных материалов по основным проблемам космической биологии и медицины возникла потребность в распространении этих данных среди специалистов.

Инициаторами создания специализированного научного журнала по данной дисциплине стали директор Института медико-биологических проблем МЗ СССР (ИМБП) академик Парин Василий Васильевич и заместитель начальника Государственного научно-исследовательского испытательного института авиационной и космической медицины МО СССР (ГНИИИ А и КМ), член-корреспондент АН СССР Газенко Олег Георгиевич. В 1966 г. директивными органами СССР было принято решение об издании в рамках Министерства здравоохранения СССР в издательстве «Медицина» журнала «Космическая биология и медицина». Приказом министра здравоохранения СССР академика Б.И. Петровского главным редактором журнала был назначен В.В. Парин, его заместителями – О.Г. Газенко и начальник 3-го Главного управления при МЗ СССР В.Н. Правецкий, ответственным секретарем – Ф.П. Космолинский. Учредителями журнала явились ИМБП и ГНИИИ А и КМ (1987–1998). Постоянный интерес к журналу проявлял зам. министра здравоохранения СССР А.И. Бурназян, который курировал космическую биологию и медицину как представитель государственной власти.

В сентябре 1966 г. на XV Международном конгрессе по авиационной и космической медицине в Праге было объявлено об издании в СССР нового журнала и от имени В.В. Парина делегатам конгресса было предложено присылать в журнал свои статьи. В результате к концу 1966 г. в портфеле редакции оказалось около 70 статей. В 1967 г. издательством «Медицина» был выпущен первый номер журнала «Космическая биология и медицина». Стремление как можно активнее обмениваться новыми данными в области тогда еще только зарождавшейся науки – космической биологии и медицины привело к тому, что в 1968 и 1969 годах журнал издавался также и на английском языке.

В 1970 г. главным редактором журнала стал О.Г. Газенко, который с 1969 г. возглавил ИМБП. В этом же году журнал перестал издаваться на английском языке. В январе 1973 г. О.Г. Газенко включил в состав редколлегии новых членов. Ответственным секретарем журнала стал Шипов Алексей Алексеевич, который с любовью и добросовестно выполнял обязанности секретаря до последних дней своей жизни.

С целью привлечения в качестве авторов и читателей журнала авиационных врачей и для увеличения тиража с 1974 г. журнал стал выходить под названием «Космическая биология и авиакосмическая медицина».

Одновременно с этим, понимание того, что космическая медицина как наука может развиваться только в рамках международных контактов, с 1977 по 1990 г. журнал вновь стал издаваться на английском языке. Этому в немалой степени способствовало активное участие ИМБП в реализации программы «Интеркосмос». С 1978 по 1991 г. в журнале наряду с редколлегией функционировал и редакционный совет, в состав которого в 1989 г. были включены такие известные зарубежные ученые, как С. Бараньски (ПНР), Л. Махо (ЧССР), В. Паппенфус (ГДР), Я. Хидег (ВР). Этот представительный орган просуществовал до 1991 г.

По предложению О.Г. Газенко в 1989 г. была осуществлена полная смена составов редколлегии и редсовета. Главным редактором стал новый директор ИМБП академик А.И. Григорьев, его заместителем – Е.А. Ильин, зам. директора ИМБП, а О.Г. Газенко возглавил редакционный совет.

В 1991 г. журнал получил название «Авиакосмическая и экологическая медицина», которое сохранилось и до настоящего времени. Впервые вопрос о включении в тематику журнала материалов по экологической медицине был поставлен на круглом столе в Калуге в 1990 г. на IX Всесоюзной конференции по космической биологии и авиакосмической медицине. В 1991 г. вышел первый «экологический» номер журнала (№ 4), посвященный действию ультрафиолетовой радиации на живые системы.

До 1991 г. журнал выпускался в издательстве «Медицина». В годы перестройки из-за недостаточного финансирования остро встал вопрос о собственном издательстве. Для этого Институтом была учреждена фирма «Слово», которая получила лицензию на издание журнала. Возглавил ее сотрудник информационно-редакционного отдела ИМБП В.В. Круговых. Журнал издавался фирмой «Слово» в период с 1991 по 2003 гг., при этом Учредителем журнала оставался ИМБП. С 2004 г. учредителем и одновременно издателем журнала стал ИМБП. Начиная с 2006 г. журнал вошел в перечень ведущих рецензируемых журналов Высшей аттестационной комиссии.

В 2009 г. новым директором ИМБП и новым главным редактором журнала стал академик РАМН И.Б. Ушаков. По договоренности главного редактора переводного журнала «Физиология человека» академика А.И. Григорьева с И.Б. Ушаковым было принято решение выпускать в составе этого журнала

дополнительный том с переводами избранных статей по физиологии человека, опубликованных в журнале «Авиакосмическая и экологическая медицина» за предшествующие два года.

С 2010 г. в соответствии с Лицензионным договором, подписанным ИМБП как учредителем журнала с Издателем «Плеадес Паблишинг, Инк» ежегодно выпускается на английском языке том № 7 журнала «Human Physiology» с названием «Aviakosmicheskaya I Ecologicheskaya Meditsina».

С 2014 г. начата работа по приведению журнала в соответствие с требованиями международных научных баз данных Web of Science и Scopus. В частности, обновлен и расширен состав редакционной коллегии, вновь (после 1991 г.) создан редакционный совет, в которые наряду с известными отечественными учеными вошли и иностранные специалисты в области космической медицины.

Наряду с публикацией очередных материалов с результатами исследований редакцией выпускались так называемые целевые номера журналов с заказными статьями. Так, журнал № 6 1998 г. был посвящен 80-летию академика О.Г. Газенко, журнал № 2 2001 г. был посвящен 40-летию полета Ю.А. Гагарина, журнал № 5 2003 г. – 40-летию создания ИМБП, журнал № 6 2008 г. – памяти академика О.Г. Газенко и 45-летию ИМБП.

Все номера журнала, выпущенные в 2013 г. были посвящены 50-летию создания ИМБП. В одном из номеров были опубликованы материалы XIV Конференции по космической биологии и авиакосмической медицине, посвященной юбилею ИМБП.

Важным этапом в деятельности журнала явилось то, что, начиная с 1997 г., было выпущено в свет 17 номеров «Космического альманаха» – историко-художественного приложения к журналу. Составителем и редактором «Космического альманаха» является В.В. Круговых – писатель и историк, ветеран космонавтики.

В декабре 2015 г. директором ИМБП и новым главным редактором журнала стал О.И. Орлов. Под руководством академика О.И. Орлова была проведена XVI Конференция по космической биологии и медицине (5–8 декабря 2016 г.), материалы которой были опубликованы в журнале № 5 2016.

Говоря о достижениях журнала «Авиакосмическая и экологическая медицина», следует особо отметить его включение в такие научные базы как Scopus, PubMed, РИНЦ, повышение импакт-фактора за последние годы в 2 раза. Все это свидетельствует о крепких позициях журнала как серьезного научного издания, росте его авторитета на международном уровне.