

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, член-корреспондент РАН
Виноградова О.Л., д.б.н., профессор – заместитель главного редактора
Дьяченко А.И., д.т.н., профессор
Ерофеева Л.М., д.б.н., профессор
Иванов И.В., д.м.н., профессор
Ильин Е.А., д.м.н., профессор
Котов О.В., к.м.н.
Красавин Е.А., к.м.н., д.б.н., профессор, член-корреспондент РАН
Меденков А.А., к.психол.н., д.м.н., профессор
Синяк Ю.Е., к.х.н., д.т.н., профессор
Сорокин О.Г., к.м.н. – ответственный секретарь
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
Жданыко И.М., д.м.н.
Козловская И.Б., д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН
Котовская А.Р., д.м.н., профессор
Островский М.А., д.б.н., профессор, академик РАН
Розанов А.Ю., д.г.-м.н., профессор, академик РАН
Рубин А.Б., д.б.н., профессор, член-корреспондент РАН
Залуцкий И.В., д.б.н., профессор, член-корреспондент НАНБ (Беларусь)
Крышталь О.А., д.б.н., профессор, академик НАНУ (Украина)
Макашев Е.К., д.б.н., профессор, член-корреспондент АН РК (Казахстан)
Gerzer R., M.D., Ph.D., professor (Germany)
Gharib C., Ph.D., professor (France)
Yinghui Li, M.D., Ph.D., professor (China)

2020 Т. 54 № 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, 2020
© State Research Center RF – Institute of Biomedical Problems Russian Academy of Sciences, 2020

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

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

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

Адрес: 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76а, метро «Полежаевская»,
Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН
Редакция: тел.: 8 (499) 195-68-74, факс: 8 (499) 195-22-53, эл. почта: library@imbp.ru
Секретарь: Муромцева Т.С., тел.: 8 (499) 195-65-12, эл. почта: arhiv@imbp.ru

Сдано в набор 17.02.2020
Подписано в печать 02.03.2020
Формат 60 × 84 1/8
Гарнитура Tahoma
Печать офсетная
Усл. печ. л. 11,39
Тираж 200 экз
Заказ № 35

Отпечатано в типографии ООО ИПЦ «Научная книга»
Адрес: 394026, г. Воронеж, Московский пр-т, 11/5

Содержание

Contents

Обзоры

Reviews

Шафиркин А.В. Изменение парадигмы опасности космических излучений при осуществлении дальних замагнитосферных полетов к Луне и Марсу

5

Shafirkin A.V. New outlook for the space radiation risks paradigm for remote beyond-magnetosphere missions to the Moon and Mars

Годило-Годлевский В.А., Воронков Ю.И., Аникеев Д.А. Проблемные вопросы медицинского сопровождения и врачебно-лётной экспертизы при актуальных заболеваниях сердечно-сосудистой системы у лиц лётного состава

16

Godilo-Godlevsky V.A., Voronkov Yu.I., Anikeev D.A. Problem aspects of medical control and flight medical certification of flying personnel with actual cardiovascular diseases

Экспериментальные и общетеоретические исследования

Experimental and Theoretical Investigations

Степанова С.И., Королёва М.В., Карапетыан А.С., Галичий В.А., Карпова О.И. Теоретические и прикладные аспекты организации труда и отдыха участников экспедиций по российской лунной программе

23

Stepanova S.I., Koroleva M.V., Karapetyan A.S., Galichiy V.A., Karpova O.I. Theoretical and applied aspects of work and rest scheduling for members of missions according to the Russian Lunar program

Руденко Е.А., Черепов А.Б., Баранов М.В., Лебедева М.А., Хлебникова Н.Н. Исследование вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы при длительном пребывании в условиях ортостатической и антиортостатической гипоксии

31

Rudenko E.A., Cherepov A.B., Baranov M.V., Lebedeva M.A., Khlebnikova N.N. Studies of cardiovascular system autonomic regulation during extended exposure to horizontal and tilted bed rest and head-down tilt bed rest

Штемберг А.С., Клосц И.Н., Беляева А.Г., Блохина Т.М., Яшкина Е.И., Осипов А.Н., Базян А.С., Кудрин В.С., Перевезенцев А.А., Кошлань Н.А., Богданова Ю.В., Кошлань И.В., Тимошенко Г.Н., Лапин Б.А. Гематологические, биохимические и молекулярные эффекты облучения головы обезьян ядрами криптона высоких энергий

38

Shtemberg A.S., Klots I.N., Belyaeva A.G., Blokhina T.M., Yashkina E.I., Osipov A.N., Bazyan A.S., Kudrin V.S., Perevezentsev A.A., Koshlan N.A., Bogdanova Yu.V., Koshlan I.V., Timoshenko G.N., Lapin B.A. Hematological, biochemical and molecular effects of primate's head irradiation with high-energy krypton nuclei

Праскурничий Е.А., Иванов И.В. Авиамедицинские риски, ассоциированные с атерогенными дислипидемиями и атеросклерозом

46

Praskurichiy E.A., Ivanov I.V. Aeromedical risks associated with atherogenic dislipidemias and atherosclerosis

Засядько К.И., Вонаршенко А.П., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Язлюк М.Н. Анализ профессионально важных качеств лётчиков-инструкторов и возможностей их развития

52

Zasyadko K.I., Vonarshenko A.P., Soldatov S.K., Bogomolov A.V., Yazlyuk M.N. Analysis of qualities professionally important for flight instructor and their enhancement

- Буйнов Л.Г., Благинин А.А., Глазников Л.А., Сорокина Л.А. Исследование эффективности нормо- и гипобарических гипоксических тренировок в оптимизации функционального состояния и повышения профессиональной работоспособности лиц управляющих скоростными средствами передвижения **57** Buynov L.G., Blaguinin A.A., Glaznikov L.A., Sorokina L.A. Study of the effectiveness of normal and low-pressure hypoxic training in optimization of the functional state and improvement of professional fitness of people controlling high-speed vehicles
- Глазников Л.А., Сорокина Л.А., Буйнов Л.Г., Гудков Р.В. Влияние инвазии *Ascaris lumbricoides* на статокINETическую устойчивость кандидатов в курсанты летного училища **64** Glaznikov L.A., Sorokina L.A., Buynov L.G., Gudkov R.V. Effect of *Ascaris lumbricoides* invasion on statokinetic stability of flight school applicants
- Яснецов Вик.В., Иванов Ю.В., Карсанова С.К., Яснецов В.В. Действие комбинаций мелатонина с производными 3-гидроксипиридина на нейроны латерального вестибулярного ядра и коры мозжечка у животных **69** Yasnetsov Vik.V., Ivanov Yu.V., Karsanova S.K., Yasnetsov V.V. Effect of melatonin combined with 3-hydroxypyridine derivatives on neurons of the lateral vestibular nucleus and cerebellum cortex in animals
- Саяпин С.Н. Анализ и перспективы применения автономного симбиозного самоперемещающегося массажного робота «Триангель» на борту пилотируемой космической станции **75** Sayapin S.N. Analysis and prospective use of autonomous symbiotic self-relocating body massage robot «TRIANGEL» onboard piloted space stations

Краткие сообщения

Brief Communications

- Ильин В.К., Рыкова М.П., Антропова Е.Н., Соловьева З.О., Носовский А.М. Исследование тканей пародонта при моделировании фактора невесомости **79** Ilyin V.K., Rykova M.P., Antropova E.N., Solovieva Z.O., Nosovsky A.M. Investigation of parodontium tissue during microgravity factor modelling

Хроника и информация

Chronicle and Information

- Фомина Е.В., Куссмауль А.Р., Белаковский М.С. Медико-биологические проблемы пилотируемого освоения дальнего космоса (по материалам 22-го Симпозиума Международной академии астронавтики «Человек в космосе») **84** Fomina E.V., Kussmaul A.R., Belakovskiy M.S. Biomedical problems of human space exploration, on the materials of the 22nd Humans in Space Symposium of the International Academy of Astronautics

Некролог **92** Necrology

Правила для авторов **93** Instructions for Authors

ОБЗОРЫ

УДК 537.591:523.037:525.7:613.693

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАДИГМЫ ОПАСНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ДАЛЬНИХ ЗАМАГНИТОСФЕРНЫХ ПОЛЕТОВ К ЛУНЕ И МАРСУ

Шафиркин А.В.

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

E-mail: a.v.shafirkin@mail.ru

В работе рассмотрены подходы и критерии к нормированию радиационных нагрузок на космонавтов при космических полетах различной продолжительности. Проведен анализ накопленных радиобиологических данных по формированию эффективных доз и радиационного поражения на уровне организма и отдельных тканей от различных источников космических излучений. Пересмотрена степень опасности воздействия на космонавтов излучения солнечных космических лучей (СКЛ) при развитии относительно мощных солнечных протонных событий (СПС): более чем на 2 порядка снижение величин среднетканевых эквивалентных доз, а также эквивалентных доз на радиочувствительные ткани от СПС с различной величиной флюенса и жесткостью спектра за счет ослабления излучения защитой космических аппаратов при пребывании космонавтов в специальных радиационных убежищах. Показано, что за счет быстрых восстановительных процессов на клеточном уровне возможно снижение в 1,5–5,0 раз эффективности распределенного во времени воздействия СКЛ в отношении поражения клеток костного мозга, кожи, желудочно-кишечного тракта, эпителия роговицы, а также нейронов коры головного мозга.

По данным литературы при осуществлении длительных полетов к Марсу более серьезную опасность представляет воздействие галактических космических лучей в связи с возможными глубокими поражениями различных структур коры головного мозга. Это может привести к большому риску снижения работоспособности космонавтов в процессе полета и возникновению отдаленных неблагоприятных последствий, возрастанию суммарного радиационного риска за карьеру космонавтов.

Ключевые слова: длительные межпланетные и орбитальные космические полеты, солнечные космические лучи, галактические космические лучи, мощность дозы, среднетканевая эквивалентная доза, степень поражения радиочувствительных тканей, работоспособность космонавтов, суммарный радиационный риск, возможное сокращение продолжительности жизни.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 5–15.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-5-15

Действующие на начальной фазе освоения космоса нормативные документы регламентировали допустимые дозы для кратковременных орбитальных полетов и для полетов по трассе Земля – Луна – Земля с общей продолжительностью до 30 сут. Они были основаны на анализе большого объема радиобиологических данных по протяженному и острому облучению мелких лабораторных животных и крупных млекопитающих в различных дозах, а также данных по аварийному облучению людей. При их разработке был обобщен большой клинический материал, касающийся осложнений при лучевой терапии. При нормировании радиационного воздействия применительно к кратковременным полетам основная задача сводилась к ограничению уровня острого облучения за счет протонов солнечных космических лучей (СКЛ) с целью недопущения сколько-нибудь значимого снижения работоспособности космонавтов, возможности развития у них первичной лучевой реакции (ПЛР) средней степени тяжести (близкой по характеру к болезни движения космонавтов в начальном периоде полета) и выраженного снижения концентрации клеток костного мозга и периферической крови в процессе полета.

Обсуждение допустимых пределов доз для космонавтов (астронавтов) применительно к кратковременным орбитальным полетам и для полетов к Луне проводилось на нескольких международных биоастронавтических конгрессах и конгрессах по радиационным исследованиям, в которых принимали участие радиобиологи, физиологи и фармакологи 3 институтов СССР и их коллеги из США. Со стороны Советского Союза активное участие в обсуждении принимали ведущие ученые ГНИИ авиационной и космической медицины МО СССР В.В. Парин, О.Г. Газенко, В.В. Антипов, Б.И. Давыдов, П.П. Саксонов, В.С. Шашков, Н.Л. Делоне. С докладами выступали ведущие ученые и клиницисты Института биофизики и Института медико-биологических проблем Минздрава СССР Ю.Г. Григорьев, А.К. Гуськова, М.П. Домшляк, В.Г. Высоцкий, С.А. Раевская,

Б.А. Маркелов, Н.Г. Даренская. От американской стороны выступали известные ученые-радиобиологи и физиологи W.H. Langham, C. Berry и др. [1–7].

В первых нормативах, предложенных в СССР в 1966 г. применительно к орбитальным полетам и полетам по трассе Земля – Луна – Земля длительностью до 30 сут, был установлен:

- предел дозы на костный мозг (КМ) 15 сЗв за 1 солнечное протонное событие (СПС);
- доза оправданного риска (ДОР) за месяц 50 сЗв;
- критическая доза для досрочного прекращения полета – 125 сЗв.

Близкие регламенты были установлены и в первых нормативах по радиационной безопасности космических полетов в США: допустимая планируемая доза за месяц – 25 сЗв, максимальная оперативная доза – 50 сЗв. Первоначально предел дозы за карьеру космонавтов как в СССР (России), так и в США был установлен равным 4 Зв, чтобы дополнительный радиационный риск смертности от канцерогенеза не превышал 3 % [6–10].

Данные пределы доз, установленные в СССР и США, предполагали, что максимальную опасность представляют стохастически распределенные во времени СПС, особенно мощные: жесткие по спектру и с большим потоком протонов. Нормативы допускали лишь слабовыраженные проявления ПЛР, такие, как небольшая слабость, головная боль, снижение аппетита, легкое головокружение. Глубина временного снижения концентрации клеток периферической крови не должна была превышать 25 %. В дальнейшем в нормативах СССР и США предел дозы на КМ изменялся в пределах 50–75 сЗв и окончательно к 2004 г. был установлен равным 50 сЗв. Дозы на хрусталик глаза (ХГ) и кожу (КЖ) за год были установлены в России в 2 и 6 раз большими и равными 100 и 300 сЗв соответственно, а в США на хрусталик доза за год была в 4 раза больше 200 сЗв (по сравнению с дозой на КМ) и в 2 раза превышал предел, установленный в России [9–12].

Основным источником радиационной опасности, ухудшающим работоспособность космонавтов в процессе полета, продолжали оставаться протоны СКЛ, критерием для установления предела доз за месяц и год являлось требование недопущения ПЛР средней степени тяжести и достаточно небольшого снижения концентрации клеток в радиочувствительных тканях: КМ, КЖ, желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), эпителии роговицы.

Учитывая представленные в последующей литературе более высокие значения радиационного риска в расчете на единицу дозы, в России в наземных нормативах по радиационной безопасности НРБ-99 предел годовой эффективной дозы для профессиональных работников в атомной промышленности

дозы был снижен в 2,5 раза и составил 2 сЗв, а для ликвидаторов возможных радиационных аварий – 20 сЗв [13]. В то же время в нормативах для космических полетов предел дозы для КМ всегда оставался более высоким и равным 50 сЗв как в России, так и в США вплоть до 2004 г. [9–12]. В отношении пределов доз за карьеру космонавтов в нормативах США, руководствуясь прежним критерием (предельным дополнительным риском смертности от канцерогенеза 3 %), первоначальный предел дозы за карьеру 4 Зв был также снижен и для астронавтов-мужчин в возрасте 25, 35, 45 и 55 лет был установлен равным соответственно 0,7; 1,0; 1,5 и 2,9 Зв, а для женщин – 0,4; 0,6; 0,9 и 1,6 Зв [9–12].

В ИМБП Минздрава СССР была разработана целая система ГОСТов и руководящих документов (РД) по проблеме «Безопасность радиационная экипажа космического аппарата (КА) в космическом полете» (БРЭКАКП), которые были выпущены в период 1983–1991 гг. Это были ГОСТы с описанием моделей источников излучений космического пространства, моделей прохождения излучений через вещество защиты КА и биологическую ткань с учетом вклада в суммарную дозу вторичных излучений, ГОСТы, включающие описание моделей ряда биологических эффектов и нормативные предельные дозы для космонавтов при длительных полетах. Для приведения сложного характера облучения в космическом пространстве к условиям стандартного радиационного воздействия на Земле (к эффектам острого равномерного облучения при использовании источников гамма- и жесткого рентгеновского излучения с напряжением на трубке 180–250 кВ) был введен новый дозиметрический функционал «Обобщенная доза Н», который составил основу нормативно-технического документа (ГОСТ 25645. 201-83. Термины и определения, 1984) [9, 10, 12, 14].

Обобщенная доза Н представлялась в этом документе как доза стандартного радиационного воздействия, вызывающая такой же спектр ближайших проявлений и отдаленных последствий, как и рассматриваемый сложный характер радиационного воздействия от источников излучений в космосе. Алгоритм ее вычисления записывался в виде

$$H[Sv] = \overline{D}[\Gamma\rho] \cdot \overline{KK} \cdot KB \cdot KP, \quad (1)$$

где H – обобщенная доза; D – среднетканевая поглощенная доза; KK – коэффициент качества излучения, зависящий от линейной передачи энергии (ЛПЭ) тканям; KB – коэффициент временной неравномерности радиационного воздействия, учитывающий мощность дозы и характер распределения дозы во времени на радиобиологические эффекты; KP – коэффициент равноценности радиационного воздействия, учитывающий

макропространственное распределение поглощенных доз по телу космонавтов.

Специфические условия космического полета, когда кроме ионизирующих излучений на космонавтов воздействуют перегрузки, невесомость, гиподинамия, длительное психологическое напряжение, требуют также введения коэффициентов модификации радиационного воздействия за счет нерадиационных факторов. Первоначально в период 1960–1980 гг. экспериментаторы в различных радиобиологических экспериментах делали попытки определить коэффициенты модификации радиационного ответа организма применительно к ближайшим неблагоприятным последствиям (KM_N). Рассматривали возможное усиление или ослабление радиационных эффектов в радиочувствительных тканях, которые могут повлиять на изменение работоспособности и общей жизнеспособности организма.

В дальнейшем развитие представлений об обобщенной дозе применительно к оценкам радиационных рисков ближайших (Nearest) эффектов в процессе полетов, а также рисков отдаленных (Late) неблагоприятных последствий привело окончательно к следующим 2 уравнениям для обобщенной дозы

$$H_N = \left(\sum_{i=1}^n \overline{D_i} \cdot KK_{Ni} \cdot KB_{Ni} \cdot KP_{Ni} \right) KM_N \quad (2)$$

$$H_L = \left(\sum_{i=1}^n \overline{D_i} \cdot KK_{Li} \cdot KB_{Li} \cdot KP_{Li} \right) KM_L,$$

где D_i , KK_i , KB_i , KP_i , KM_i – соответствующие значения среднетканевой дозы и коэффициентов для i -го источника радиационной опасности.

Поскольку выход непосредственных, ближайших радиационных эффектов в процессе осуществления полета, с одной стороны, а также возможных неблагоприятных отдаленных последствий, с другой стороны, связан с формированием патологии в существенно различных критических системах организма, отличающихся временем развития поражения, его локализацией, скоростью протекания восстановительных процессов, величины обобщенных доз следует вычислять отдельно на основе своего набора коэффициентов соответственно для ближайших эффектов H_N и отдаленных последствий H_L [9, 10, 12].

В 2018 г. отмечалось 55 лет исследованиям в ГНЦ РФ – ИМБП РАН по обеспечению безопасности уже длительных пилотируемых орбитальных полетов, в том числе 60-летний юбилей исследованиям по космической радиобиологии. Значительное количество комплексных радиобиологических исследований за этот период было проведено сотрудниками различных институтов страны на базе Объединенного института ядерных исследований

в г. Дубне на ускорителях протонов и ускоренных многозарядных ионов [9, 10].

Результаты анализа биологической эффективности воздействия протонов различных энергий по сравнению с эффектами жесткого рентгеновского и гамма-излучений изложены в большом числе литературных источников: монографий, докторских и кандидатских диссертаций [6, 9, 10, 15–22]. Для большого числа исследований среднее значение коэффициента относительной биологической эффективности (ОБЭ) протонов с энергией в пределах 30–730 МэВ ($ЛПЭ = 0,24 \pm 1,25$ кэВ/мкм) по отношению к стандартному рентгеновскому излучению с напряжением на трубке 180–250 кВ по смертности мелких лабораторных животных составило $0,70 \pm 0,02$, для крупных млекопитающих – $0,77 \pm 0,03$. По радиационно-обусловленным изменениям в клетках различных тканей коэффициенты ОБЭ протонов оказались равными $0,70 \pm 0,03$. Из представленных данных видно, что эффективность воздействия протонов указанных энергий заметно ниже, чем облучение рентгеновским излучением с напряжением на трубке 180–250 кВ, и не превышает эффективности воздействия гамма-излучения ^{60}Co и ^{137}Cs .

В этих исследованиях продемонстрирована полная качественная и количественная идентичность радиобиологических эффектов этих видов излучений по показателям тяжести развития острой лучевой болезни, вероятности гибели млекопитающих, их продолжительности жизни, по характеру и глубине изменений в различных органах и тканях, по частоте и характеру цитогенетических нарушений в клетках животных и человека. Представлена идентичность характера протекания первичных радиационно-химических процессов и изменения радиобиологической эффективности при применении гипоксии, а также в случае использования радиопротекторов. Наличие количественной тождественности характера изменений на клеточном, тканевом, органном и организменном уровнях при действии ускоренных протонов и гамма-излучения непосредственно на животных или на культуры клеток млекопитающих, культивируемые *in vitro*, показывает, что значение коэффициента ОБЭ протонов с энергией 30–730 МэВ по отношению к гамма-излучению ^{60}Co может быть принято равным 1,0. Лишь в экспериментах с более низкими энергиями протонов, а также релятивистскими протонами с очень высокой энергией 1–9 ГэВ были отмечены коэффициенты ОБЭ в диапазоне 1–2,0 [9, 10, 18].

Из этих данных можно сделать вывод, что закономерности формирования радиационного поражения в отдельных тканевых системах и на уровне организма после непрерывного гамма-облучения в широком диапазоне мощностей доз с учетом восстановительных процессов на клеточном и

организменном уровнях могут быть перенесены и в отношении формирования поражения при действии протонов в диапазоне энергий 30–730 МэВ.

В работах [9, 10] показано, что при мощности дозы радиационного воздействия менее 3 сГр/мин (40 Гр/сут) и длительности облучения от 1 ч до 5-10 сут при формировании радиационного поражения в КМ и анализе выживаемости животных и человека следует учитывать быстрые восстановительные процессы на клеточном уровне и снижение эффективности радиационного воздействия. Коэффициент эффективности KB_N в выражении (2) для протонов СКЛ может быть установлен на основе простого уравнения: $KB_N = (\gamma/\gamma_g)^{0,18}$, где γ_g – указанное выше граничное значение мощности дозы для КМ. В работах [9, 10, 23] продемонстрирована также возможность восстановления нейронов коры головного мозга в процессе длительного фракционированного облучения головы человека в связи с лечением опухоли головного мозга. Для нервной ткани показано, что $KB_N = (\gamma/\gamma_g)^{0,30}$. Из радиобиологии известно, что восстановительная способность кожи (КЖ) и эпителия кишечника в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) существенно выше, чем для кроветворной ткани, и для этих тканей показатель степени в выражении равен 0,36, а граничное значение мощности дозы для КЖ и ЖКТ $\gamma_g = 200$ Гр/сут.

Рассмотрим как скажется возможность проявления быстрых восстановительных процессов на тканевом уровне на эффективное поражение КМ от СКЛ во время развития СПС. Согласно существующим представлениям, развитие хромосферной вспышки на Солнце сопровождается выбросом корпускулярного излучения, изменение потока которого во времени происходит по закону

$$dF / dt = A \cdot t \cdot \exp(-\lambda \cdot t), \quad (3)$$

Длительность каждой отдельной вспышки составляет приблизительно 36 ч, причем максимум плотности потока частиц приходится на 9 ч от начала вспышки [9, 24]. Из последнего условия вытекает, что параметр λ равен 0,11, а из условия нормирования полного потока протонов за СПС можно получить величину коэффициента A , которая оказывается равной $\Phi/75$, где Φ – полный поток (флюенс) протонов. Переходя от плотности потока и потока протонов соответственно к мощности дозы и дозе, получаем следующее уравнение изменения мощности дозы во времени:

$$\gamma(t) = (D/75) \cdot t \cdot \exp(-0,11 \cdot t), \quad (4)$$

где t – время от начала развития вспышки, ч.

На основе данного уравнения можно записать выражение для эффективной остаточной дозы применительно к радиационному воздействию на КМ:

$$D_{ef} = \int_0^{36} \gamma(t) K(\gamma) d\tau = \int_0^{36} \frac{(\gamma)^{1,18}}{(\gamma_g)^{0,18}} d\tau =$$

$$= \frac{(D/75)}{(\gamma_g)^{0,18}} \int_0^{36} \tau^{1,18} \cdot \exp(-0,13 \cdot \tau) \cdot d\tau, \quad (5)$$

где $K(\gamma) = (\gamma/\gamma_g)^{0,18}$; а $\gamma_g = 1,7$ Гр/ч или 40 Гр/сут.

Можно воспользоваться упрощенным выражением для эффективной остаточной дозы, предполагая, что при вспышке происходит радиационное воздействие с некоторой постоянной средней мощностью дозы, которое завершается через 1 сут. Суммарная доза за вспышку одновременно может быть принята в качестве мощности дозы, выраженной в Гр/сут.

Уравнение эффективной остаточной дозы D_{ef} в этом случае будет иметь совершенно простой вид:

$$D_{ef} = (D/\gamma_g)^{0,18} \cdot D \cdot 1 = (D^{1,18}) / (\gamma_g)^{0,18}, \quad (6)$$

Сделанные предположения приводят к несколько завышенным величинам эффективной остаточной дозы, что является оправданным при решении задач обеспечения радиационной безопасности. В табл. 1 представлены расчетные оценки D_{ef} для солнечных вспышек с различным интегральным потоком (суммарные поглощенные дозы приводятся из работы [25]).

Данные табл. 1 показывают достаточно хорошую точность приближенного расчета и одновременно свидетельствуют о том, что распределенное за 36 ч событие, при котором мощность дозы изменяется по закону $\gamma(t) = (D/75) \cdot t \cdot \exp(-0,11 \cdot t)$, приводит к снижению эффективной остаточной дозы в 2–3 раза по сравнению с суммарной поглощенной дозой за вспышку. Если рассматривать величины дозы и мощности дозы, которые могут быть в радиационном убежище за биологической защитой 5–20 г/см², то эффективные остаточные дозы окажутся меньше суммарных значений эквивалентных среднетканевых доз за СПС в 3–5 раз, что необходимо учитывать при оперативной оценке радиационной опасности каждой в отдельности или группы следующих друг за другом СПС.

В табл. 2 представлены локальные тканевые дозы (в отсутствие стандартизованного шарового фантома, представляющего модель тела человека) и среднетканевые эквивалентные дозы, полученные при интенсивных СПС 19–23-го солнечных циклов за различными толщинами защиты, сЗв [9, 10]. Как следует из данных таблицы, при малой толщине защиты КА 1 г/см² величины доз для наиболее мощных СПС могут достигать высоких величин и представляют большую опасность для космонавтов (для СПС августа 1972 г. они фактически

Таблица 1

Значения суммарных поглощенных и эффективных остаточных доз (сГр) за минимальной защитой 1 г/см² алюминия от излучений солнечных вспышек с различным интегральным потоком

Дозиметрический показатель	Интегральный флюенс			
	10 ⁹	10 ⁸	10 ⁷	10 ⁶
Эквивалентная доза, сЗв [25]	665	66,5	6,7	0,67
Эффективная доза D _{эф} сЗв (приближенный расчет)	480	32	2,2	0,14
Эффективная доза D _{эф} сЗв (точный расчет по уравнению (6))	439	29,4	1,9	0,13

Таблица 2

Локальные и среднетканевые эквивалентные дозы, полученные при интенсивных СПС 19–23-го солнечных циклов и использовании различной толщины защиты, сЗв

Характеристика СПС			Толщина защиты из алюминия, г/см ²							
Дата СПС	Жесткость спектра, МВ	Флюенс, р/см ²	1		5		10		20	
			Лок.	Средн.	Лок.	Средн.	Лок.	Средн.	Лок.	Средн.
23.02.1956	196	1,0 · 10 ⁹	443	61	120	35	62	21	33	11
10.07.1959	89	1,0 · 10 ⁹	850	58,5	94	14	29	7,0	6,5	1,5
14.07.1959	80	1,3 · 10 ⁹	1220	72	111	15	30	7,0	6,0	1,5
16.07.1959	106	9,1 · 10 ⁸	680	51	94	18	33	9,0	10,5	2,5
12.11.1960	124	10 ⁹	645	60	111	24	44	13	17,0	6,0
15.11.1960	115	7,0 · 10 ⁸	482	45	76	16	29	9,0	11,5	4,0
04.08.1972	85	7,8 · 10 ⁹	6800	458	700	105	200	50	51	11,5
07.08.1972	54	4,0 · 10 ⁸	540	17	19,5	1,5	3,5	0,5	0,5	-
29.09.1989	88	1,1 · 10 ⁹	935	64	103	16	31,5	7,5	8,0	2,0
19.10.1989	103,6	2,3 · 10 ⁹	1700	126	235	45	82	22	25,5	6
22.10.1989	109,6	9,8 · 10 ⁸	730	55	105	21	33,5	12	11,0	4
24.10.1989	133,5	5,3 · 10 ⁸	320	34	60	13	26	7	12	3,5
28.10.2003	64,9	2,5 · 10 ⁹	2840	125	170	17	37	6,5	6,2	1,0
29.10.2003	78,7	5,7 · 10 ⁸	495	33	51	7	14	3,0	3,5	1,0
02.11.2003	60,6	2,3 · 10 ⁸	260	11,5	16	2	3,5	0,5	0,5	-

Таблица 3

Суммарные значения среднетканевых эквивалентных доз и эффективных остаточных доз (представлены в скобках) при воздействии интенсивных СПС и использовании различной толщины защиты, сЗв

Характеристика группы СПС	Толщина защиты из алюминия, г/см ²			
	1	5	10	20
СПС 23.02.1956	61 (29)	35 (15,5)	21 (6,0)	11 (4,0)
3 события в августе 1959 г.	182 (90)	47 (17)	23 (7,0)	5,5 (1,2)
СПС 4.08.1972	458 (350)	105 (50)	50 (23)	11,5 (4,0)
3 события в октябре 1989 г.	215 (130)	79 (34)	41 (17)	13,5 (5,0)
3 события в октябре 2003 г.	170 (95)	26 (8,0)	10 3,0	2,0 (0,5)

соответствуют сублетальному и летальному диапазону доз). Однако защита от протонов, как это следует из данных табл. 2, может быть успешно обеспечена с помощью использования специально радиационного убежища (РУ) или отсеков марсианского орбитального корабля (МОК) или лунно-орбитального комплекса (ЛОК) с относительно большей защищенностью.

При защите радиационного убежища 20 г/см² суммарные среднетканевые эквивалентные дозы за указанные серии событий окажутся вполне приемлемыми и не будут превышать пределов доз, установленных стандартами по радиационной безопасности космических полетов в России в 2004 г. [12].

Таким образом, нами показано (см. табл. 2), что при использовании радиационного убежища на КА толщиной 5–20 г/см² алюминия имеет место реальное снижение среднетканевых эквивалентных доз по сравнению с величинами при минимальной толщине защиты 1 г/см² алюминия. Для СПС февраля 1956 г. с жесткостью спектра 196 МВ снижение составило от 2 до 6 раз, для СКЛ меньшей энергии (СПС 4 августа 1972 г. с жесткостью спектра 85 МВ) эффективность оказывается сниженной от 4 до 40 раз. С учетом также заметного снижения за время реализации СПС биологической эффективности поражения КМ за счет быстрых восстановительных процессов на клеточном уровне в 2–5 раз значения эффективных остаточных эквивалентных среднетканевых доз для кроветворной ткани будут вполне допустимыми (табл. 3). Для КЖ, эпителия ЖКТ, эпителия роговицы эффективность снижения будет еще больше.

Анализ данных табл. 3 показывает, что за минимальной защитой КА 1 г/см² алюминия воздействие СКЛ при мощных СПС представляет значительную опасность для работоспособности и жизнеспособности космонавтов. Однако уже при защите радиационного убежища КА 5 г/см² алюминия среднетканевые дозы и дозы на рассматриваемые критические органы соответствуют дозам оправданного риска в первых еще нормативах по радиационной безопасности космических полетов (РБКП) [1–10]. Они не приведут к снижению работоспособности космонавтов и заметному снижению концентрации клеток КМ, КЖ, ЖКТ и эпителия роговицы. Увеличение толщины защиты РУ до 10 г/см² и тем более до 20 г/см² обеспечивает выполнение современных норм по РБКП [12]. Даже при рассмотрении крайне маловероятной (практически невероятной) ситуации развития за год всех СПС, представленных в табл. 3, суммарная эффективная остаточная среднетканевая доза и эквивалентная доза на КМ не превысит 15 сЗв.

В работах [9, 10] при рассмотрении расчетных величин радиационного риска для космонавтов в возрасте 40 лет в процессе длительного космического

полета к Марсу, осуществляемого в период максимума СА, нами показано, что за толщиной защиты марсианского корабля 1 г/см² алюминия дополнительный радиационный риск составил 55 % от демографического. При толщинах радиационного убежища (РУ) 5, 10 и 20 г/см² он снижался до 29, 20 и 14 % соответственно. При дальнейшем увеличении толщины РУ до 50 г/см² он снижался уже пренебрежимо мало (всего на 2 %), поскольку защита от СКЛ была уже обеспечена при толщине 20 г/см², и дальнейшего значительного снижения эквивалентных доз и величин радиационного риска уже не происходило, поскольку они определялись лишь вкладом от галактических космических лучей (ГКЛ), защита от которых менее эффективна.

Поскольку, как было показано выше, при наличии радиационного убежища КА 20 г/см² алюминия не следует ожидать нарушения работоспособности космонавтов в процессе полета при действии СКЛ при развитии даже самых мощных СПС, далее стратегия нормирования переключилась к оценкам опасности воздействия ГКЛ в отношении работоспособности космонавтов в процессе осуществления длительных межпланетных полетов, а также в отношении возможных отдаленных неблагоприятных последствий для здоровья космонавтов. Это связано с тем, что кроме первичного потока ядер ГКЛ, действующих на космонавтов в широком диапазоне энергий от 100 МэВ до 100 ГэВ, на них воздействует также широкий спектр быстрых нейтронов и ускоренных ядер, рождающихся в материалах защиты и в теле космонавтов, что осложняет осуществление радиационной защиты.

Еще в 1964 г. С.П. Королевым разрабатывался проект большого марсианского корабля. Для обеспечения радиационной безопасности возможного межпланетного полета к Марсу им было высказано предположение о необходимости постановки эксперимента на большой партии животных по оценке неблагоприятных последствий радиационных воздействий на космонавтов при полете на Марс с целью оценки реальной опасности и разработки необходимых мер по обеспечению радиационной безопасности членов экипажа. Это предложение было активно поддержано заместителем министра Минздрава СССР А.И. Бурназяном, академиками А.В. Лебединским и В.В. Париным.

В Институте медико-биологических проблем Минздрава СССР под руководством доктора медицинских наук, профессора Ю.Г. Григорьева была осуществлена еще в 1966 г. постановка уникального 14-летнего эксперимента на большой партии собак, которых облучали с помощью источников гамма-излучения ⁶⁰Со в течение 3 и 6 лет во временном режиме и в дозах, моделирующих радиационное воздействие на космонавтов при полете на Марс. В эксперименте принимали участие коллективы еще

нескольких институтов СССР: Института биофизики Минздрава СССР (ныне Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна при ФМБА), сотрудники лаборатории профессора С.Н. Александрова ЦНИИРПИ (Санкт-Петербург), а также биологи и медики ряда социалистических стран: Польши, ГДР, Чехословакии, Венгрии и Болгарии. Работа координировалась специально созданным научным советом, в который входили ведущие радиобиологи страны [9, 10]. Результаты эксперимента подробно отражены в большом числе монографий, материалах съездов и конференций, диссертационных работ. Основные выводы, которые легли в основу разработки модели радиационной скорости смертности млекопитающих, кратко заключены в следующих положениях:

- имели место значительные нарушения в основной регуляторной гипоталамо-гипофиз-надпочечниковой системе, включающие как морфологические изменения в гипоталамусе и гипофизе, так и снижение к 24-му месяцу эндокринного статуса организма собак, выразившееся в значительном падении гормональной активности гипофиза, надпочечников, щитовидной и ряда других желез;

- гистологические исследования показали наличие серьезных сосудистых нарушений в большинстве органов и тканей. Наблюдали склероз сосудов легких, сердца, печени, почек и др.;

- получены данные по сокращению продолжительности жизни животных на 5 % при дозах 360–375 сГр, которые допускались за весь период профессиональной деятельности прежними нормативными документами ГОСТ 25645.215-85 [26].

Указанные изменения приводили к отчетливым нарушениям в системе кровообращения, что при длительной и напряженной работе регуляторных систем обусловило значительное снижение общего объема компенсаторных резервов организма. Это приводило к более сильному ухудшению состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) и нарушению терморегуляции при применении физической и тепловой нагрузки по сравнению с хорошей их переносимостью животными контрольной группы.

На основе полученных результатов этого эксперимента на собаках, а также большого числа экспериментов на мелких лабораторных животных по острому облучению в разных дозах и хроническому облучению с различной мощностью дозы была разработана модель радиационной скорости смертности млекопитающих [9, 10, 27], которая позволила достаточно хорошо описать результаты представленных в литературе радиобиологических экспериментов [28, 29]. С использованием этой модели был разработан алгоритм и проведены расчеты суммарного радиационного риска (СРР) для космонавтов в течение всей жизни, а также возможного сокращения средней предстоящей продолжительности жизни (СППЖ)

космонавтов в результате межпланетного полета к Марсу, которые представлены в работах [9, 10].

Расчетные оценки показали, что после 2-летнего полета к Марсу в период максимума СА при минимальной толщине защиты РУ 1 г/см² дополнительный суммарный радиационный риск в течение жизни составит 15 %, а возможное сокращение СППЖ 5,5 года. В случае толщины РУ 5, 10, 20 и 50 г/см² алюминия СРР снижался до 10; 8,5; 7,5 и 7 %. В этом случае, как было рассмотрено нами ранее при рассмотрении радиационного риска в полете, защита от СКЛ оказывается обеспеченной уже при РУ 20 г/см² алюминия. Значительное увеличение толщины РУ до 50 г/см² алюминия уже не приводит к заметному снижению СРР. Если предположить гипотетически защиту по всему периметру КА 50 г/см², то за счет ослабления излучения ГКЛ суммарный радиационный риск снизится всего в 2 раза до 3,5 %. Расчетное сокращение СППЖ при указанных толщинах РУ от 5 до 20 г/см² составит 3; 2,7, 2,5 и 2,45 года, а при сверхбольшой толщине бортовых отсеков КА 50 г/см² оно снизится всего на 1,3 года [9, 10]. Реально СРР определяется величинами среднетканевой и обобщенной эквивалентными дозами от ГКЛ.

В указанных выше работах показано, что суммарный радиационный риск не зависит от возраста космонавтов. Он для космонавтов в возрасте 25–30 лет в 3 раза превышает риск от канцерогенеза, а для космонавтов (астронавтов) в возрасте 50–55 лет, почти в 10 раз, что связано с дополнительным риском повреждения эндотелия сосудов, нарушениями в системе кровообращения, в том числе мозгового кровообращения, более высоким риском развития инфарктов и инсультов [9, 10, 12 30–32]. В связи с этим в нормативах России по РБКП 2004 и 2016 гг. [9, 12, 30] доза за карьеру космонавтов, по сравнению с ГОСТ 25645.215-85 [26] была снижена в 4 раза, до 1 Зв. Этот предел дозы совпадает с наземным нормативом для работников атомной промышленности [13].

В отношении точности оценки СРР на основе модели радиационной скорости смертности млекопитающих интересно сопоставить расчетные данные, полученные с использованием представленного выше уникального эксперимента на собаках и значительного числа экспериментов с острым и хроническим облучением большого количества мелких лабораторных животных, с эпидемиологическими данными, полученными в мире, по риску сердечно-сосудистых заболеваний и канцерогенезу для человека при облучении в дозах менее 1 Зв с малой мощностью дозы [9, 12, 30, 32]. Расчеты на основе модели радиационной скорости смертности млекопитающих, проведенные в работах [9, 30], показали, что суммарный радиационный риск в течение жизни космонавтов линейно зависит от обобщенной дозы и его оценка при обобщенной дозе 1 Зв составляет 13 %

для российских космонавтов, а также 11 и 12,5 % соответственно для японских и американских астронавтов. В то же время, как показано в работе [32], при длительных эпидемиологических наблюдениях работников ПО «Маяк» Челябинской области, ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС и жителей прилегающих территорий радиационный риск сердечно-сосудистых болезней в России составляет 8,5 % на 1 Зв. Если добавить среднее значение радиационного риска канцерогенеза 4,0 % на 1 Зв для мужчин России, то суммарный радиационный риск по эпидемиологическим данным составит 12,5 %. Эта оценка практически совпадает с представленными выше расчетными значениями СРР в расчете на 1 Зв, полученными на модели с использованием экспериментальных радиобиологических данных [9, 12, 30, 32].

В последнее время исследователи в большей степени обращают внимание на опасность воздействия не СКЛ, а ГКЛ на работоспособность космонавтов в процессе полета и на возможный, более высокий риск отдаленных неблагоприятных последствий. Тем более что обеспечить защиту КА от ГКЛ значительно труднее из-за высокого вклада вторичных излучений: нейтронов и широкого спектра ионов высоких энергий с большими значениями ЛПЭ и коэффициентами качества этих излучений. В работах [9, 18, 33–35] показано, что по новым экспериментальным данным по таким отдаленным последствиям, как цитогенетические нарушения в лимфоцитах крови и эпителии хрусталика, трансформация клеток и развитие опухолей разных тканей, по сокращению СППЖ, по нарушению нейронов в ЦНС и риску образования помутнений и развитию катаракт, оценки коэффициентов относительной биологической эффективности (ОБЭ) воздействия быстрых нейтронов и ускоренных многозарядных ионов (УМИ), особенно в малых дозах, существенно превышают значения в нормативных зависимостях коэффициента качества (КК) излучения от ЛПЭ [36, 37], что приведет при разработке и утверждении новых нормативов по зависимости КК от ЛПЭ к значительному увеличению оцениваемых значений обобщенных эквивалентных доз для ГКЛ и величин суммарного радиационного риска. Поэтому для определения опасности воздействия ГКЛ при осуществлении длительных космических полетов, особенно при предстоящих межпланетных полетах к Луне и Марсу в настоящее время многие исследователи большее внимание уделяют проведению экспериментов по установлению морфологических изменений и риска поражения отдельных структур коры головного мозга при действии малых доз отдельных ядер ГКЛ. Они изучают изменения показателей высшей нервной деятельности (ВНД) животных, связанные с нарушением памяти, поведения животных, и их условно-рефлекторной деятельности (УРД).

В обзоре [38] представлены материалы по облучению животных ускоренными ионами железа в дозах, соответствующих уровню воздействия на космонавтов при полете к Марсу. Показано, что уже малые потоки тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) и особенно ионов железа могут привести к поражению важных структур ЦНС, изменению поведения животных, их ВНД и модификации высших интегративных функций мозга. Применительно к воздействию ТЗЧ ГКЛ это может привести не только к нарушению операторской деятельности, но и к неблагоприятным отдаленным последствиям для здоровья космонавтов после завершения полета.

Исследованию поражения нейронов коры головного мозга при действии на него УМИ а также рентгеновского и гамма-излучений в различных дозах посвящен целый ряд работ, в которых изучали также воздействие быстрых нейтронов, ускоренных ионов углерода, фтора, аргона и железа в разных дозах на голову экспериментальных животных, наряду со стандартными излучениями, и исследовали формирование различных стадий помутнения хрусталика и развитие катаракт в отдаленные сроки после облучения [9, 18, 35, 38–41].

Учитывая реальную опасность тяжелых ядер ГКЛ, в новых нормативах NASA [42] установлены специальные пределы доз за карьеру на головной мозг космонавтов (на ЦНС) 1500 мЗв, а для частиц с $Z \geq 10$ – 250 мЗв. Впервые в нормативы были введены пределы доз на сердечно-сосудистую систему 500 мЗв за год и 1 Зв за карьеру. Эти величины соответствуют нормативам, установленным в России [12, 30], и не зависят от пола и возраста астронавтов [42].

Выводы

1. При защите радиационного убежища КА 5 г/см² алюминия среднетканевые дозы и дозы на рассматриваемые критические органы КМ, КЖ, ЖКТ, эпителий роговицы от СКЛ соответствуют дозам оправданного риска в первых еще нормативах по радиационной безопасности космических полетов (РБКП). Они не приведут к снижению работоспособности космонавтов и заметному снижению концентрации клеток указанных тканей. Увеличение толщины защиты РУ до 10 г/см² и тем более до 20 г/см² обеспечивает выполнение современных норм по РБКП и безопасность работы космонавтов во время длительных межпланетных полетов. При 2-летнем полете к Марсу в период максимума СА, а также при годовом нахождении на поверхности Луны эффективные остаточные эквивалентные среднетканевые дозы от СКЛ не превысят 10 сЗв, а суммарный радиационный риск от СКЛ не превысит 1 %.

2. Учитывая предстоящие более высокие, в 4–5 раз, потоки ядер ГКЛ при межпланетных полетах к Луне и Марсу по сравнению с потоками при

орбитальных космических полетах на МКС и их высокую биологическую эффективность, для решения вопросов нормирования и обеспечения радиационной безопасности космонавтов при межпланетных полетах указанные исследования по изучению морфофункциональных изменений в ЦНС при действии ТЗЧ ГЛЛ следует продолжить.

Работа проводилась по программе фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН № 65.2.

Список литературы

1. Frank G.M., Saksonov P.P., Antipov V.V., Dobrov N.N. Radiobiological problems of space flights // Basic environmental problems of Man in space: Proc. 1th Int. Symposium. Paris, 1962 / H. Bjurstedt, ed. Wien; New York, 1965. P. 254–266.
2. Parin V.V., Antipov V.V., Davydov B.I. et al. Investigation of biological effectivity of ionizing radiation and other factors of space flight // XVth Int. Astronautical Congress (Warsaw, Sept. 7–12, 1964). Life Spacecraft, Oxford. 1965. V. 4 (Bioastronautics). P. 131–145.
3. Grigoryev Yu., Darenskay N., Domshlak M. et al. The problem for establish of a limits doses to cosmonauts // XVIth Int. Astronautical Congress (Athens, Sept. 13–18, 1965). V. 4. P. 145–161.
4. Григорьев Ю.Г., Гуськова А.К., Домшлак М.П. и др. Проблема обоснования допустимых доз ионизирующей радиации для членов экипажа космических кораблей: Доклад на XVI Междунар. астронавтическом конгрессе (Афины, 13–18 сентября 1965 г.). М., 1965.
5. Григорьев Ю.Г., Гуськова А.К., Домшлак М.П. et al. The problem of the justification of permissible doses of ionizing radiation for the crew spacecraft: Report on the XVIth Int. Astronautical Congress (Athens, Sept. 13–18 1965). Moscow, 1965.
6. Григорьев Ю.Г., Ковалев Е.Е., Лебединский А.В. и др. Критерии радиационной безопасности длительных космических полетов // Проблемы космической биологии. Т. 6. М., 1967. С. 460–475.
7. Григорьев Ю.Г., Ковалев Е.Е., Лебединский А.В. et al. Radiation safety criteria for long-term space flights // Problems of space biology. V. 6. Moscow, 1967. P. 460–475.
8. Саксонов П.П., Антипов В.В., Давыдов Б.И. Очерки космической радиобиологии // Проблемы космической биологии. Т. 9. М., 1968.
9. Саксонов П.П., Антипов В.В., Давыдов Б.И. Essays on space radiobiology // Problems of space biology. V. 9. Moscow, 1968.
10. Radiobiological factors in manned space flight / W.H. Langham, ed. Washington, 1967. P. 273.
11. Radiation protection guides and constraints for space mission and vehicle-design studies involving nuclear systems // Radiobiological Advisory Panel Committee on Space Medicine / W.H. Langham, Grahn D., eds. NAS/NRC 1970. Washington, 1970.
12. Шафиркин А.В., Григорьев Ю.Г. Межпланетные и орбитальные полеты. Радиационный риск для космонавтов (Радиобиологическое обоснование). М., 2009.
13. Shafirkin A.V., Grigoriev Yu.G. Interplanetary and orbital flights. Radiation risk for astronauts (Radiobiological rationale). Moscow, 2009.
14. Григорьев Ю.Г., Ушаков И.Б., Красавин Е.А. и др. Космическая радиобиология за 55 лет (К 50-летию ГНЦ РФ – ИМБП РАН). М., 2013.
15. Grigoriev Yu.G., Ushakov I.B., Krasavin E.A. et al. Space radiobiology for 55 years (For the 50th anniversary of SSC RF – IBMP RAS). Moscow, 2013.
16. Guidance on radiation received in space activities. Recommendation of the national council on radiation protection and measurements NCRP. Report № 98. Bethesda, 1989.
17. Методические указания МУ 2.6.1.44-03-2004 «Ограничение облучения космонавтов при околоземных космических полетах» (ОКОКП-2004). М., 2004.
18. Methodical direction MD 2.6.1.44-03-2004 «Limits of cosmonauts irradiation for orbital low earth cosmic flights». Moscow, 2004.
19. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) СП 2.6.1. 758-99. М., 2009.
20. Limits of radiation safety (NRS-99/2009) SP 2.6.1. 758-99. Moscow, 2009.
21. ГОСТ 25645.201-83 «Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете» (БРЭКАКП). Термины и определения. М., 1984.
22. GOST 25645.201-83 «Radiation safety for spacecraft crew in space flight» (BRACAKP). Terms and definitions. Moscow, 1984.
23. Биологическое действие протонов высоких энергий (к оценке радиационной безопасности космических полетов) / Ю.Г. Григорьев, ред. М., 1967.
24. Biological effect of high-energy protons (on the assessment of the radiation safety of space flight) / Yu.G. Grigoriev, ed. M., 1967.
25. Даренская Н.Г., Кознова Л.Б., Акоев И.Г., Невская Г.Ф. Относительная биологическая эффективность излучений. Фактор времени облучения. М., 1968.
26. Darenskay N.G., Kosnova L.B., Akoev I.G., Nevskaya G.F. The relative biological effectiveness of radiations. The time factor exposure. Moscow, 1968.
27. Григорьев Ю.Г. Радиационная безопасность космических полетов. М., 1975.
28. Grigoriev Yu.G. Radiation safety of space flights. Moscow, 1975.
29. Федоренко Б.С. Радиобиологические эффекты корпускулярных излучений. Радиационная безопасность космических полетов. М., 2006.
30. Fedorenko B.S. Radiobiological effects of corpuscular radiation. Radiation safety of space flights. Moscow, 2006.
31. Рыжов Н.И. Биологическое действие ускоренных тяжелых заряженных частиц: Дис. ... д-ра мед. наук. М., 1982.
32. Ryzhov N.I. Biological effects of accelerated heavy charged particles: Dissertatsiya ... doktora meditsinskikh nauk. Moscow, 1982.

20. Ярмоненко С.П., Конопляников А.Г. Противолучевая защита в связи с проблемой относительной биологической эффективности редкоизирующих излучений // Проблемы космической биологии. Т. 4. М., 1965. С. 139–164.
- Yarmonenko S.P., Konoplyanikov A.G. Anti-radiation protection in connection with the problem of the relative biological effectiveness of rare-ionizing radiation // Problems of space biology. V. 4. Moscow, 1965. P. 139–164.
21. Dalrymple G.V., Lindsay I.R., Hall I.D. et al. Some effect of 138 MeV protons on primates // Radiat. Res. 1966. V. 28. № 2. P. 406–433.
22. Taketa S.T. Biological effects of proton and neutrons in large animal // II Symposium on protection against radiation in space. Washington. 1965, P. 75–84.
23. Гуськова А.К., Байсоголов Г.Д. Лучевая болезнь человека. М., 1971.
- Guskova A.K., Baisogolov G.D. Radiation sickness of person. Moscow, 1971.
24. Хафнер Д. Ядерное излучение и защита в космосе. М., 1971.
- Hafner D. Nuclear radiation and protection in space. Moscow, 1971.
25. Ковалев Е.Е. Радиационный риск на земле и в космосе. М., 1976.
- Kovalev E.E. Radiation risk on earth and in space. M., 1976.
26. ГОСТ 25645.215-85 БРЭКАКП. Нормы безопасности при продолжительности полетов до 3 лет. М., 1986.
- GOST 25645.215-85 BREKAKP. Safety regulations for the duration of flights up to 3 years. Moscow, 1986.
27. Шафиркин А.В. Модель радиационной скорости смертности млекопитающих, определяющая отдаленные последствия радиационного воздействия в различных дозах // Авиакосм. и экол. мед. 1999. Т. 33. № 4. С. 64–69.
- Shafirkin A.V. Model of the radiation rate of mortality in mammals, which determines the long-term effects of radiation exposure in various doses // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 1999. V. 33. № 4. P. 64–69.
28. Storer J.B. Radiation resistance with age in normal and irradiated population of mice // Radiat. Res. 1965. V. 25. № 3. P. 435–459.
29. Sacher G.A., Grahn D. Survival of mice under duration of life exposure to gamma rays. 1. The dosage-survival relation and the lethality function // J. Natl. Cancer Inst. 1964. V. 32. № 2. P. 277–321.
30. Ушаков И.Б., Григорьев Ю.Г., Шафиркин А.В., Шуршаков В.А. Материалы по обоснованию пределов доз к новому нормативному документу по радиационной безопасности длительных орбитальных космических полетов на орбитах высотой до 500 км // Авиакосм. и экол. мед. 2016. Т. 50. № 1. С. 39–54.
- Ushakov I.B., Grigoryev Yu.G., Shafirkin A.V., Shurshakov V.A. Materials on the substantiation of dose limits to the new regulatory document on radiation safety of long-term orbital space flights in orbits up to 500 km high // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2016. V. 50. № 1. P. 39–54.
31. Geard C.R., Jenkins-Baker G., Grabham P. et al. Human endothelial cells in 2 D and 3-D system. Noncancer effects and space-related radiations // 4th Int. Workshop on Space Radiation Research and 17-th Annual NASA Space Radiation Health Investigators Workshop. Dubna, 2006. P. 34–35.
32. Little M.P., Azizova T.V., Bazika D. et al. Systematic Review and meta-analysis of circulatory disease from exposure to low-level ionizing radiation and estimates of potential population mortality risks // Environ. Health Perspectives. 2012. V. 120. № 11. P. 1503–1511.
33. Источники и эффекты ионизирующих излучений: Отчет НКДАР ООН-2000. Т. 1. М., 2002.
- Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 Report. V. 1. Moscow, 2002.
34. Кеирим-Маркус И.Б., Савинский А.К., Чернова О.Н. Коэффициент качества ионизирующих излучений. М., 1992.
- Keirim-Markus I.B., Savinsky A.K., Chernova O.N. Quality factor of ionizing radiation. Moscow, 1992.
35. Worgul B.V., Medvedovsky C., Huang Y. et al. Quantitative assessment of the cataractogenic potential of very low doses of neutrons // Radiation Res. 1996. V. 145. № 3. P. 343–349.
36. ГОСТ 25645.218-90 БРЭКАКП. Зависимость коэффициента качества космических излучений от линейной энергии. М., 1991.
- GOST 25645.218-90 BREKAKP. The dependence of the quality factor of the cosmic radiation from the linear energy. Moscow, 1991.
37. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях 1990 года. Публикации № 60 и 61. М., 1994.
- Recommendations of the international Commission on radiological protection, 1990. The annual limits of intake of radionuclids into the body work, based on the recommendations of 1990. Publication № 60 and 61. Moscow, 1994.
38. Григорьев А.И., Красавин Е.А., Островский М.А. К оценке риска биологического действия галактических тяжелых ионов в условиях межпланетного полета // Рос. физиол. журнал им. И.М. Сеченова. 2013. Т. 99. № 3. С. 273–280.
- Grigoriev A.I., Krasavin E.A., Ostrovsky M.A. To risk assessment of biological action of galactic heavy ions in interplanetary flight // Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal imeni I.M. Sechenova. 2013. V. 99. № 3. P. 273–280.
39. Ушаков И.Б., Штемберг А.С. Проблемы 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., Stenberg A.S. Problems of long-term space flight factors influence on higher nervous activity in model animal experiments // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2012. V. 46. № 1. P. 5–16.

40. Kokhan V.S., Matveeva M.I., Mukhametov A., Shtemberg A.S. Risk of defeats in the central nervous system during deep space missions // Neurosci. and Biobehav. Rev. 2016. № 71. P. 621–632.

41. Cucinotta F.A., Alp M., Sulzman F.M., Wang M. Space radiation risk to the central nervous system // Life Sci. in Space Res. 2014. № 2. P. 54–69.

42. NASA-STD-3001. NASA space flight human system standard. V. 1. Crew health. P. 65–67.

Поступила 19.12.2018

NEW OUTLOOK FOR THE SPACE RADIATION RISKS PARADIGM FOR REMOTE BEYOND-MAGNETOSPHERE MISSIONS TO THE MOON AND MARS

Shafirkin A.V.

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

The paper discusses the approaches to and criteria of setting limits to radiation loads on cosmonauts in missions of varying duration. The available radiobiological data about

effective dose formation and damages to organism and tissues from different space radiation sources have been analyzed. Revision of the hazards to cosmonauts from solar cosmic rays (SCRs) during relatively powerful solar proton events (SPEs) led to a more than two-order reduction of mean tissue dose equivalent values, and equivalent doses for radiosensitive tissues imparted by SPEs with various fluencies and spectrum rigidity owing to specially designed shelters. It was found that due to rapid cell reparative processes the SCR effects on bone marrow, skin, GIT, corneal epithelium and cortex neurons (known for spread over time) may reduce 1.5 times or by half.

According to the literature, in missions to Mars the galactic cosmic rays are particular hazardous because of potential severe damages to various structures of the brain cortex. This is fraught with a great risk to the cosmonauts' ability to work during transit and of delayed negative consequences, and growth of the total radiation risk over career.

Key words: long-term space exploration and orbital missions, solar cosmic rays, galactic cosmic rays, dose rate, mean tissue dose equivalent, damage to radiosensitive tissues, cosmonaut's ability to work, total radiation risk, potential lifespan reduction.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2020. V. 54. № 1. P. 5–15.

УДК 616.12

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ МЕДИЦИНСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ И ВРАЧЕБНО-ЛЕТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРИ АКТУАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У ЛИЦ ЛЕТНОГО СОСТАВА

Годи́ло-Годле́вский В.А.¹, Воронков Ю.И.², Аникеев Д.А.²

¹«Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва

²Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: vg-god@rambler.ru

Обзор посвящен проблемным вопросам медицинского обеспечения летного состава при сердечно-сосудистых заболеваниях. Представлен анализ проблем диагностики и лечения артериальной гипертензии, нарушений сердечного ритма и проводимости у лиц летного состава гражданской и государственной авиации Российской Федерации на основе изучения действующих регламентирующих руководящих документов, справочных пособий для авиационных врачей и других источников. Отмечен ряд нерешенных и трудных вопросов лечения и профилактики для данной категории летного состава, в том числе возможности сочетания углубленной диагностики и реабилитационно-восстановительных мероприятий для продолжения летной работы. Основными теоретическими результатами и практическими рекомендациями являются предлагаемые направления развития принципиальных подходов и схем лечения с целью повышения безопасности полетов и летного долголетия авиационных специалистов с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Ключевые слова: профилактическая авиационная медицина, клиническая авиационная медицина, артериальная гипертензия, нарушения сердечного ритма и проводимости, авиационная медицина, врачебно-летная экспертиза, летное долголетие.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 16–22.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-16-22

Интенсивное развитие и совершенствование современной авиационной техники повышают требования к состоянию профессионального здоровья летного состава гражданской и военной авиации и диктуют необходимость дальнейшего развития авиационной клинической и авиационной профилактической медицины для повышения профессиональной надежности летного состава, безопасности полетов и летного долголетия [1]. С 1995 по 2009 г. общие потери государственной авиации составили 395 воздушных судов, погибли 906 человек. Относительный показатель (число авиационных происшествий на 100 тыс. часов налета,

характеризующих уровень аварийности), в течение 30 лет находится на уровне 4–5 авиационных происшествий на 100 тыс. часов налета, в то время как в ведущих авиационных державах этот показатель в 2 и более раза ниже [2]. В настоящее время материальный ущерб, наносимый Российской Федерации авиационными происшествиями в государственной авиации, составляет более 2 млрд рублей в год. После реализации государственной программы вооружения при сохранении существующей системы безопасности полетов такой материальный ущерб может достичь 30 млрд рублей в год [2].

Проблемы врачебно-летной экспертизы, связанные с упреждающей клинической диагностикой, адекватной медико-психологической и медицинской реабилитацией, приобретают повышенную научно-практическую значимость. Несмотря на дальнейшее совершенствование системы медицинского обеспечения полетов отечественной авиации, как гражданской, так и государственной, за истекшие 30 лет структура медицинского отбора авиационных специалистов и их дисквалификации кардинально не изменилась. Универсальный документ по освидетельствованию авиационных специалистов государственной авиации издан лишь в 1999 г. [3] и практически не имеет дополнений в части, касающейся раздела расписания болезней. Но и в гражданской авиации он вышел в 2002 г., имеет ряд дополнений, принятых вплоть до 2017 г., не затрагивающих вопросы сердечно-сосудистой патологии летного состава [4]. В структуре факторов риска медицинской дисквалификации сердечно-сосудистые заболевания в государственной авиации составляют более 40 % от всей патологии внутренних органов. В соответствии с имеющимися требованиями в Государственной авиации каждый пятый авиационный специалист списывается по причине сердечно-сосудистых заболеваний [10]. Наиболее распространены диагнозы: стенозирующий коронарный атеросклероз, гипертоническая болезнь и некоронарогенные заболевания миокарда.

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ выраженности модифицируемых факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний показал, что в сравнении с общей популяцией в выборке из числа лиц летного состава ($n = 150$) был выявлен значительный удельный вес комбинации факторов риска: 2 факторов риска – в 66 %, 3 факторов риска – в 26 % и 4 факторов риска – в 15 % случаев [10]. В данной выборке практически не было выявлено значимого влияния факторов антириска, которые могут нейтрализовать неблагоприятное воздействие основных факторов риска [5, 6].

Примечательно, что по данным Национального руководства по кардиологии (2014) в общей российской популяции артериальная гипертензия регистрируется в 39,5 % [17]. Артериальная гипертензия у лиц летного состава государственной авиации, по данным А.В. Наговицына, была выявлена в 13,7 %, без учета распределения по возрасту испытуемых [9]. Среди летного состава гражданской авиации этот показатель отмечен почти в 2 раза чаще – в 27,2 %, по данным ЦВЛЭК [13]. В этой же когорте обследованных авиационных специалистов значимый прирост процента лиц с артериальной гипертензией начинает отмечаться с 30-летнего возраста. И уже при сравнении с когортой 35–40-летних лиц с артериальной гипертензией у специалистов наземных служб она составляет 7–10 %, а среди летного состава регистрируется уже в 1,5–2 раза чаще – 13,2 % случаев. Можно предположить, что в основе такого прироста показателей лежит накопление эколого-профессиональных факторов риска при дефиците факторов антириска.

Анализ распределения лиц с гипертонической болезнью по видам государственной авиации демонстрирует ее наиболее высокий процент среди летного состава военно-транспортной и армейской авиации – 23,5 и 32,1 % соответственно. Вероятно, это обусловлено дополнительным воздействием в военной авиации специфических факторов риска авиационного полета (боевой стресс, десинхроноз, ненормированный рабочий день и др.). Выявление лиц с гипертонической болезнью в армейской авиации, возможно, связано с большим числом признаков «боевого стресса», а также воздействием вибраций, превышающих нормативы. Повышенные показатели частоты артериальной гипертензии у летчиков военно-транспортной авиации могут быть результатом пиковых стрессовых психоэмоциональных нагрузок при взлете и посадке, повышенной ответственности за перевозки десятков и сотен пассажиров, в том числе десанта с проведением десантирования личного состава и техники, десинхроноза при трансмеридианных перелетах. Выявленный большой процент аритмии у лиц

маневренных и высокоманевренных летательных аппаратов (45,1 %) без сопутствующей гипертонической болезни, вероятно, был обусловлен стрессовыми нагрузками в условиях принятия оптимального решения при резком дефиците времени, парном пилотаже, а также при упражнениях в учебных и особенно реальных воздушных боях [10].

Годными по состоянию здоровья к лётной работе, но нуждающимися в мерах целенаправленной комплексной систематической профилактики сердечно-сосудистых осложнений, составляют лица с признаками гипертонической болезни I стадии по критериям, отраженным в приказе Минобороны России № 455 (1999 г.), ФАП МО ГА 2002. Федеральные авиационные правила «Медицинское обеспечение летного состава гражданской авиации», и II стадии ГБ по критериям, изложенным в рекомендациях Российского медицинского общества по изучению артериальной гипертензии (РМОАГ-2016). В 26 % случаев это лица в возрасте 30–39 лет, 44 % – в возрасте 40–49 лет и к этому возрасту имеют 3 и более факторов риска сердечно-сосудистых осложнений [10, 14, 16]. В этой выборке в 37 % случаев при проведении эхокардиографии было выявлено увеличение индекса массы миокарда левого желудочка, превышающего 116 г/м^2 , являющегося одним из критериев II стадии ГБ по рекомендациям РМОАГ-2016 [16].

Общеизвестно, что в основе патогенеза при гипертонической болезни лежит стойкая активация прессорных механизмов симпатoadреналовой системы, приводящая к стойкому спазму артериол с последующей активацией ренин-ангиотензин-альдостероновой системы и перестройкой сосудистой стенки. На активацию симпатoadреналовой системы оказывает непосредственное сильное влияние психоэмоциональный и профессиональный стресс. Известным доступным способом снятия стресса служит прием алкоголя. Алкоголь, в свою очередь, также является стимулятором симпатoadреналовой системы. Т.А. Крапивницкая и соавт. в докладе на IX Международном научно-практическом конгрессе «Человеческий фактор в системе управления безопасностью экстремальной профессиональной деятельности и проблемы оздоровления специалистов» (2015) отмечала, что в период 2012–2015 гг. было 59 случаев отстранения авиационных специалистов по причине употребления алкогольных напитков и психотропных веществ [22]. В действительности, вероятно, эта цифра представляется сильно заниженной. Получить аналогичные данные в государственной авиации не представилось возможным.

В последние годы в летном составе повысилась доля лиц старше 50–55 лет (до 20 %), что является независимым, не модифицируемым фактором риска [6, 15, 21]. Аналогичные тенденции наблюдаются и

в государственной авиации. Высокий процент лиц летных специальностей, имеющих метаболический синдром как модифицируемый фактор риска, ограничивает эффективность некоторых одобренных к применению в гражданской авиации препаратов (например, группы ингибиторов ангиотензин-превращающего фермента). Негативное влияние на особенности метаболизма этих препаратов в организме авиационного специалиста в процессе активной летной деятельности может выступать в качестве фактора риска реального полета: незначительная гипобария, сухость воздуха в герметичной кабине, дефицит потребления воды, гиподинамия в длительных полетах, избыточное потребление кофе, курение и др., что снижает эффективность лечения. Основным контингентом лечебно-профилактических мероприятий специалистов авиационной медицины является пациент с множественными факторами риска с высоким или нормальным давлением, а также гипертонической болезнью I ст. до развития поражения органов-мишеней [16]. Применение диагностико-реабилитационных алгоритмов вторичной профилактики гипертонической болезни I ст. позволяет продлить летное долголетие летного состава на срок от 2 до 6 лет без снижения клинико-физиологических показателей и уровня безопасности полета. Наблюдение за лицами с гипертонической болезнью I ст. с одинаковыми индексами массы миокарда левого желудочка в течение 5 лет показало, что среднее значение этого показателя при лечении ингибиторами ангиотензин-превращающего фермента было равно $129,9 \pm 0,42 \text{ г/м}^2$, в то время как без лечения составило $140,2 \pm 0,6 \text{ г/м}^2$ [9, 10, 16].

Актуальными для специалистов авиационной клинической медицины являются также различные нарушения сердечного ритма и проводимости у лиц летного состава. Так, артериальная гипертония с ремоделированием левого желудочка тесно связана с увеличением процента нарушения сердечного ритма и проводимости и некоронарогенными заболеваниями миокарда, которые представляют также значительную медико-профессиональную проблему [8, 10–12, 18–20]. Клинически в общей популяции данная патология выявляется лишь в 3 % случаев, тогда как на аутопсии регистрируется в 3 раза чаще, составляя 10 %. Миокардиодистрофия (код МКБ-10 (I42.9) – «кардиомиопатия неуточненная») диагностируется у авиационных специалистов в 3 раза чаще, чем в общей популяции. При клинико-морфологическом сопоставлении результатов исследования миокарда авиационных специалистов, погибших в авиационных катастрофах, включенных в исследование, в 1/3 случаев были отмечены признаки сетчатого диффузного кардиосклероза, без какого-либо анамнестического упоминания о предшествующих травмах сердца, воспалении

миокарда или ишемической болезни сердца [20]. В статистических отчетах об итогах врачебно-летной экспертизы клинико-морфологическая картина миокардита, выявляемого у летного состава, чаще представлена аритмическим вариантом течения. Вероятно, это обусловлено более пристальным вниманием к этому виду расстройств сердечной деятельности со стороны врачей авиационной медицины, ограниченным объемом обследования летного состава, включающим ЭКГ покоя и нагрузочный тест с ЭКГ-контролем, не способным выявить другие, менее манифестные варианты течения миокардита. При этом отмечено наличие аритмии выше 2-го класса по B. Lown, M. Wolf, M. Ryan, более 2 клинико-инструментальных симптомов тесно ассоциированы с воспалительными изменениями в миокарде, требующими комплексной терапии. Среди лиц с диагнозом «миокардитический кардиосклероз» преобладали лица с аритмическим вариантом клинического течения. У каждого 4-го обследуемого на фоне склеротических изменений были определены признаки сохранения активности воспалительных изменений в миокарде [20]. При своевременно проведенном комплексном лечении данные лица могут быть допущены к летной работе. Однако следует признать, что лечение хронического миокардита является длительным и успехи в достижении полной ремиссии воспаления достаточно скромные [8, 20].

В течение последних 10 лет обследуемые с определенными нарушениями сердечного ритма и проводимости стали направляться на радиочастотную абляцию зон эктопической активности миокарда или дополнительных путей проведения как на один из видов современного оперативного лечения аритмии [8]. В настоящее время в государственной авиации насчитывается более 25 человек, допущенных к летной работе в порядке исключения после проведения радиочастотной абляции. С этим событием связаны надежды на увеличение процента лиц летного состава, которых удастся сохранить на летной работе. Однако данная позиция существенно ослабляется необходимостью продолжения длительного курса поддерживающей антиаритмической терапии препаратами, оказывающими негативное влияние на профессионально важные качества пилота.

Общеизвестно, что основой лечебно-оздоровительных мероприятий при гипертонической болезни I ст. и нарушениях сердечного ритма и проводимости являются общепринятые факторы антириска: здоровый образ жизни, в том числе устранение провоцирующих стрессовых факторов, предоставление отдыха пациенту, занятие физической культурой, оздоровительные мероприятия, применяемые как в военной, так и в гражданской авиации [5, 6, 11]. При активной летной деятельности выполнение этих требований по оздоровлению организма

практически невозможно, вследствие чего эффективность воздействия факторов антириска значительно снижается и носит больше декларативный, нежели прикладной характер. Тем не менее профилактика и лечение в данной профессиональной группе должны планироваться и настойчиво проводиться специалистами авиационной клинической медицины. Одновременно с этим необходимо отметить существование выраженного консерватизма в принятии решений по усовершенствованию существующих лечебно-реабилитационных подходов к лицам летных профессий, имеющим хронические сердечно-сосудистые заболевания. Основу всех предложенных подходов составляют немедикаментозные мероприятия, лишь в отдельных случаях дополняемые комплексом немедикаментозных воздействий в сочетании с медикаментозными. Необходимо принять во внимание, что практически все нормативные правовые документы авиационной медицины в нашей стране подразумевают здорового индивидуума, занимающегося лётной работой, и ориентированы на немедикаментозные пути восстановления здоровья лётного состава [5–7, 11]. Как видно из представленных в работе данных, эта парадигма является не вполне состоятельной, так как лётной работой в действительности занимается значительный процент авиационных специалистов, имеющих хронические органические заболевания внутренних органов, в том числе и сердечно-сосудистой системы. С 2002 г. было проведено лишь одно исследование «АЛАРМ», в интересах лётного состава гражданской авиации с гипертонической болезнью определяющее лечение препаратами ИАПФ. В интересах государственной авиации ранее имели место лишь рекомендации в отдельных работах, не получившие широкого распространения [9, 10]. В 2012 г. данный спектр рекомендаций был дополнен лишь разделом «Практические рекомендации» в одном диссертационном исследовании [18], что является явно недостаточным для заполнения информационного вакуума по вопросам медикаментозного лечения данной патологии у лётного состава государственной авиации. Артериальная гипертензия и нарушения сердечного ритма и проводимости у лётного состава, продолжающего лётную работу, ведут к ускоренному по сравнению со здоровыми индивидами снижению компенсаторных и резервных возможностей организма. В краткосрочной перспективе – это непосредственная угроза безопасности полетов вследствие развития острых состояний, непосредственно угрожающих безопасности полетов, а в долгосрочной – снижение показателя лётного долголетия и социальной защищённости авиационных специалистов. К 30 годам появляются первые признаки хронических заболеваний, способных вызвать состояния, угрожающие безопасности полетов, особенно при недостатке

опыта; а в возрасте более 50 лет нарушается баланс между нарастающей потерей профессионально важных качеств и накоплением и прогрессированием хронических заболеваний, проявления которых, до некоторых пределов, компенсируются накопленным профессиональным практическим опытом. Эти возрастные периоды должны стать отправными ориентирами для начала и/или интенсификации лечебно-профилактических мероприятий. Информированность о заболевании в силу особенностей медицинского обеспечения профессиональной группы авиационных специалистов близка к 100 %, в то время как доступность качественной медицинской помощи стремится к нулю вследствие отсутствия достаточного опыта, закреплённого в национальной нормативной правовой документации по методикам лечения представителей лётных профессий [16, 20].

Приоритетной для авиационно-космической медицины по сравнению с клинической следует признать необходимость изучения преморбидной стадии патологического процесса и проведение всесторонней профилактики. В то же время нельзя останавливаться только на этом аспекте деятельности медицинской службы.

Комплекс лечебных мероприятий в системе сохранения здоровья лётного состава, особенно в государственной авиации, до настоящего времени не систематизирован. Не вызывает сомнений, что особенности лётного труда способствуют более раннему и специфическому течению заболеваний внутренних органов у лётного состава. В авиационно-космической медицине в сравнении с клинической существенно выше потребность в высокотехнологичных методах лабораторного и инструментального обследования лётного состава. К таким методам относятся: мультиспиральная компьютерная томографическая коронарная ангиография, одноквантовая электронная компьютерная томография, магнитно-резонансная томография сердца и др. Они позволяют в ранние сроки выявлять патологию сердечно-сосудистой системы, что в настоящее время практически не реализовано. Требуется существенный пересмотр подходов к распределению ресурсов на лечебно-диагностическое обеспечение лётного состава государственной авиации и гражданской авиации, в первую очередь на стационарном этапе обследования и лечения. Так, по данным филиала № 1 ФГКУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко (7 ЦВКАГ) Минобороны России», в высокотехнологичных методах исследования сердечно-сосудистой системы нуждается каждый пятый, освидетельствуемый с ФР и/или с заболеваниями сердечно-сосудистой системы. Из них реализуется не более половины.

Выводы

1. Диагностика ранних и начальных форм хронических заболеваний сердечно-сосудистой системы у авиационных специалистов должна учитывать факторы риска и антириска, вызванные спецификой летного труда, возраст, профессиональную деятельность обследуемых, применять высокотехнологичные методы клинко-функциональной диагностики. Первичная профилактика должна включать методологии авиационной профилактической медицины с использованием натуропатических и оздоровительных технологий.

2. Госпитализация авиационного специалиста с заболеванием сердечно-сосудистой системы необходима в лечебные учреждения, имеющие сертификацию и опыт работы в области клинической авиационной медицины.

3. Необходимы дополнительные исследования особенностей течения заболеваний сердечно-сосудистой системы у летного состава, действия лекарственных средств, проведение работы по уточнению критериев врачебно-летной экспертизы при сердечно-сосудистых заболеваниях.

Список литературы

1. Начала авиационной и космической медицины: Руководство / И.Б. Ушаков, ред. М., 2007.-

The basics of aviation and space medicine: Guide / I.B. Ushakov, ed. Moscow, 2007.

2. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2011 г. № 307 г. Москва «О федеральной целевой программе «Обеспечение безопасности полетов воздушных судов государственной авиации Российской Федерации в 2011–2015 годах».

Decree of the Government of the Russian Federation of April 21, 2011 № 307 Moscow «On the federal target program «Ensuring the safety of flights of state aircraft of the Russian Federation in 2011–2015».

3. Приказ Министра обороны РФ от 09.10.1999 № 455 (ред. от 19.06.2009) «Об утверждении Положения о медицинском освидетельствовании летного состава авиации Вооруженных Сил Российской Федерации» (зарегистрировано в Минюсте РФ 11.11.1999 № 1973).

Order of the Ministry of Defense of the Russian Federation № 455 of 09.10.1999 (edited on 19.06.2009) «On the Approval of the Regulations for the Medical Examination of Aircraft Flight Institutions of the Armed Forces of the Russian Federation» (registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on 11.11.1999 № 1973).

4. Приказ Минтранса России от 22.04.2002 № 50 (ред. от 26.06.2017) «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Медицинское освидетельствование летного, диспетчерского состава, бортпроводников, курсантов и кандидатов, поступающих в учебные заведения

гражданской авиации» (зарегистрировано в Минюсте России 07.05.2002 N 3417).

Order of the Ministry of Transport of Russia of April 22, 2002 № 50 (edited on 26.06.2017) «On approval of the Federal Aviation Regulations «Medical examination of flight, control, flight attendants, cadets and candidates entering civil aviation educational institutions» (registered in the Ministry of Justice of Russia on 07.05.2002 № 3417).

5. Вартбаронов Р.А., Малащук Л.С., Хоменко М.Н. Концепция антириска и профессиональное здоровье летчика // Вестник МАЧКАК. 1999. № 1. С. 46–56.

Vartbaronov R.A., Malashchuk L.S., Khomenko M.N. The concept of anti-risk and professional health of the pilot // Vestnik MACHKAK. 1999. № 1. P. 46–56.

6. Вартбаронов Р.А., Багаудинов К.Г., Ванина Г.Ю. Теоретическая и практическая значимость факторов риска и антириска во врачебно-летной экспертизе // Человек в экстремальных условиях: Матер. 6-го Междунар. науч.-практ. конгр. Ассоциации АКМЭМ России. М., 2008. С. 129–131.

Vartbaronov R.A., Bagaudinov K.G., Vanina G.Yu. Theoretical and practical significance of risk factors and antirisk in medical flight examination // People in extreme conditions: Proc. of the 6th International scientific and practical congress of the AKMEM Association of Russia. Moscow, 2008. P. 129–131.

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

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

8. Наговицын А.В., Вовкодав В.С., Годи́ло-Годле́вский В.А. Критерии допуска к летной работе и особенности врачебно-летной экспертизы лиц летного состава после оперативного лечения нарушений ритма сердца // Матер. IX Междунар. науч.-практ. конгр. «Человеческий фактор в системе управления безопасностью экстремальной профессиональной деятельности и проблемы оздоровления специалистов» (Москва 27–30 октября 2015 г.). С. 170–171.

Nagovitsyn A.B., Vovkodav V.S., Godilo-Godlevsky V.A. Criteria for admission to flight work and the features of medical flight examination of flight personnel after surgical treatment of cardiac arrhythmias // Proc. of the IX Int. Scientific and Practical Congress «The human factor in the safety management system of extreme professional activities and the problems of specialists' health» (Moscow, October 27–30, 2015). P. 170–171.

9. Наговицын А.В., Годи́ло-Годле́вский В.А., Вовкодав В.С., Топорищева О.С. Оценка эффективности ингибиторов ангиотензинпревращающего фермента при лечении гипертонической болезни у летного состава // Воен.-мед. журнал. 2009. № 5. С. 55–57.

Nagovitsyn A.V., Godilo-Godlevsky V.A., Vovkodav V.S., Toporisheva O.S. Evaluation of the effectiveness of angiotensin-converting enzyme inhibitors in the treatment of hypertension in flight crew // Voenno-meditsinskiy zhurnal. 2009. № 5. P. 55–57.

10. *Годи́ло-Годле́вский В.А., Нагови́цын А.В., Топори́щева О.С.* Совершенствование оказания специализированной медицинской помощи лётному составу авиации Вооружённых Сил с патологией сердечно-сосудистой системы // Матер. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы клинической и авиационной медицины». М., 2008. С. 32–34.
Godilo-Godlevsky V.A., Nagovitsyn A.V., Toporishcheva O.S. Improving the provision of specialized medical care to flight personnel of the aviation of the Armed Forces with pathology of the cardiovascular system // Proc. of Scientific and Practical Conference «Actual issues of clinical and aviation medicine». Moscow, 2008. P. 32–34.
11. *Дворников М.В., Рыженков С.П., Хоменко М.Н.* Медицинские проблемы обеспечения безопасности полётов в современных условиях и пути их решения: Матер. XIV конференции по космической биологии и авиакосмической медицине с международным участием // Авиакосм. и экол. мед. 2013 Т. 47. № 4. С. 49–50.
Dvornikov M.B., Ryzhenkov S.P., Khomenko M.N. Medical problems of ensuring flight safety in modern conditions and ways to solve them: Proc. of the XIV conference on space biology and aerospace medicine with international participation // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2013 V. 47. № 4. P. 49–50.
12. *Наговицын А.В., Вартбаронов Р.А., Чурилов Ю.К.* Значимость некоронарогенной патологии сердца в структуре сердечно-сосудистых заболеваний у лиц лётного состава: Матер. XIV конференции по космической биологии и авиакосмической медицине с международным участием // Там же. С. 103.
Nagovitsyn A.V., Vartbaronov R.A., Churilov Yu.K. The importance of non-coronary heart disease in the structure of cardiovascular diseases in flight crew members: Proc. of the XIV conference on space biology and aerospace medicine with international participation // *Ibid*. P. 103.
13. *Быстрова А.Г.* Состояние здоровья лётного состава гражданской авиации России по результатам врачебно-лётной экспертизы и пути повышения лётного долголетия // Тезисы докл. VI Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию авиационной медицины в России и 70-летию кафедры авиационной и космической медицины РМАПО Росздрава «Актуальные вопросы медицинского обеспечения полетов» (Москва, 18–19 ноября 2009 г.) С. 112–116.
Bystrova A.G. State of health of the flight crew of the civil aviation of Russia on the basis of the results of medical-flight expertise and ways to improve flight longevity // Abstracts of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of aviation medicine in Russia and the 70th anniversary of the Department of Aviation and Space Medicine of the RMAPE Roszdrav «Actual issues of flight medical support» (Moscow, November 18–19, 2009). P. 112–116.
14. *Воронков Ю.И., Колесниченко О.Ю., Анитов Ю.М.* Новые подходы к диагностике и коррекции артериальной гипертензии у пилотов и космонавтов // Авиакосм. и экол. мед. 2002. Т. 36. № 2. С. 45–49.
Voronkov Yu.I., Kolesnichenko O.Yu., Anitov Yu.M. New approaches to the diagnosis and correction of arterial hypertension in pilots and astronauts // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2002. V. 36. № 2. P. 45–49.
15. *Кузьмина А.Ю., Потиевский Б.Г., Быстрова А.Г., Незами А.* Артериальная гипертензия у пилотов гражданской авиации в возрасте 55 лет и старше // Тезисы докл. VI Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию авиационной медицины в России и 70-летию кафедры авиационной и космической медицины РМАПО Росздрава «Актуальные вопросы медицинского обеспечения полетов» (Москва, 18–19 ноября 2009 г.) С. 132–134.
Kuzmina A.Yu., Potievsky B.G., Bystrova A.G., Nezami A. Arterial hypertension in pilots of civil aviation at the age of 55 years and older // Abstracts of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of aviation medicine in Russia and the 70th anniversary of the Department of Aviation and Space Medicine of the RMAPE Roszdrav «Actual issues of flight medical support» (Moscow, November 18–19, 2009). P. 132–134.
16. Гипертоническая болезнь у авиационных специалистов. Диагностика, лечение, реабилитация и врачебно-лётная экспертиза: Учеб.-метод. пос. / Власов В.Д., ред. М., 2018.
 Hypertonic disease in aviation specialists. Diagnosis, treatment, rehabilitation and medical-flight examination: Teaching aid / Vlasov V.D., ed. Moscow, 2018.
17. Кардиология. Национальное руководство: Краткое изд. / Ю.Н. Беленков, Р.Г. Оганов, ред. М., 2014.
 Cardiology. National Manual: A short edition / Yu.N. Belenkov, R.G. Oganov, eds. Moscow, 2014.
18. *Наговицын А.В.* Клинико-функциональная диагностика, восстановительное лечение и экспертная оценка некоронарогенных нарушений сердечного ритма у лётного состава Государственной авиации РФ: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2012.
Nagovitsyn A.V. Clinical and functional diagnostics, restorative treatment and expert evaluation of non-coronary heart rhythm disorders in the flight crew of the State Aviation of the Russian Federation: Avtoreferat dissertatsii ... kandidata meditsinskikh nauk. Moscow, 2012.
19. *Наговицын А.В., Балаева З.Б.* Характеристика нарушений сердечного ритма у лётного состава с хроническими воспалительными заболеваниями миокарда // Матер. IX Междунар. науч.-практ. конгр. «Человеческий фактор в системе управления безопасностью экстремальной профессиональной деятельности и проблемы оздоровления специалистов» (Москва, 27–30 октября 2015 г.) С. 156–158.
Nagovitsyn A.V., Balaeva Z.B. Characteristics of cardiac arrhythmias in flight crew with chronic inflammatory diseases of the myocardium // Proc. of the 9th International Scientific and Practical Congress «The human factor in the safety management system of extreme professional activity and the problems of professional recovery» (Moscow, October 27–30, 2015). P. 156–158.
20. Заболевания миокарда у лётного состава. Диагностика, лечение, реабилитация и врачебно-лётная экспертиза: Учеб.-метод. пос. / В.Д. Власов, ред. М., 2018.

Myocardial diseases in flight crew. Diagnosis, treatment, rehabilitation and medical-flight examination: Teaching aid / V.D. Vlasov, ed. Moscow, 2018.

21. Власов В.Д., Ивашов С.Н. К вопросу о медицинском обеспечении полетов гражданской авиации на межгосударственном уровне // Тезисы докл. VI Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию авиационной медицины в России и 70-летию кафедры авиационной и космической медицины РМАПО Росздрава «Актуальные вопросы медицинского обеспечения полетов» (Москва, 18–19 ноября). М., 2009. С. 83–93.

Vlasov V.D., Ivashov S.N. On the issue of medical provision of civil aviation flights at the interstate level // Abstracts of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of aviation medicine in Russia and the 70th anniversary of the Department of Aviation and Space Medicine of the RMAPE Roszdrav «Actual issues of flight medical support» (Moscow, November 18–19, 2009). Moscow, 2009. P. 83–93.

22. Крапивницкая Т.А., Крапивницкая Л.В. Психодиагностический подход к врачебно-лётной экспертизе и медицинское обеспечение полетов // Матер. IX Междунар. науч.-практ. конгр. «Человеческий фактор в системе управления безопасностью экстремальной профессиональной деятельности и проблемы оздоровления специалистов» (Москва, 27–30 октября 2015 г.) С. 168–169.

Krapivnitskaya T.A., Krapivnitskaya L.V. Psychodiagnostic approach to medical flight expertise and medical support for flights // Proc. of the IX International Scientific and Practical Congress «The human factor in the safety management system of extreme professional activities and the problems of specialists' health» (Moscow, October 27–30, 2015). P. 168–169.

Поступила 20.05.2019

PROBLEM ASPECTS OF MEDICAL CONTROL AND FLIGHT MEDICAL CERTIFICATION OF FLYING PERSONNEL WITH ACTUAL CARDIOVASCULAR DISEASES

Godilo-Godlevsky V.A.¹, Voronkov Yu.I.², Anikeev D.A.²

¹Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

²Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow

The paper reviews some problem aspects of the medical control of pilots with cardiovascular diseases. Diagnostics and treatment of arterial hypertension, cardiac arrhythmias and conductivity disorders in Russian commercial and state pilots were analyzed with the use of relevant current guidelines, reference books for flight surgeons, and other sources. We identified a number of open and involved issues associated with therapy and prevention of these diseases in pilots, and potential incorporation of profound diagnostics into rehab programs. The main outcome of this effort is recommendations of principle approaches and treatment regimens to the advantage of flight safety and professional longevity of pilots with cardiovascular diseases.

Key words: preventive aviation medicine, clinical aviation medicine, arterial hypertension, cardiac arrhythmias, conductivity disorders, aviation medicine, flight medical certification, flying longevity.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2020. V. 54. № 1. P. 16–22.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 613.693+331.43/.45

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА И ОТДЫХА УЧАСТНИКОВ ЭКСПЕДИЦИЙ ПО РОССИЙСКОЙ ЛУННОЙ ПРОГРАММЕ

Степанова С.И., Королёва М.В., Карапетян А.С., Галичий В.А., Карпова О.И.

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

E-mail: ssi@imbp.ru

Рассмотрены действующие требования к организации труда и отдыха российских членов экипажей Международной космической станции. Определены основные риски, связанные с нарушением этих требований. Перечислены мероприятия, направленные на профилактику и купирование негативных медико-психологических эффектов таких рисков. Эти аспекты рассмотрены в соответствии с перспективой реализации отечественной лунной программы, в ходе которой должны быть предусмотрены рациональная организация труда и отдыха космонавтов, планирование работ с учетом медицинских лимитов рабочей занятости, а также мониторинг режима труда и отдыха и психического состояния членов экипажей.

Ключевые слова: режим труда и отдыха космонавтов, полетный мониторинг режима труда и отдыха, российская лунная программа, десинхроноз, нарушения сна, утомление, переутомление, психическая астенизация.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 23–30.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-23-30

Требования к организации труда и отдыха российских членов экипажей

Международной космической станции (МКС)

В системе медицинских мероприятий, направленных на обеспечение здоровья и работоспособности человека в условиях космического полета, вопросы организации труда и отдыха членов экипажей занимают одно из ведущих мест. На протяжении нескольких последних десятилетий были разработаны и апробированы в реальных полетах требования к рациональной организации распорядка деятельности космонавтов, которые сегодня отражены в опубликованных монографиях [1–3] и действующей документации, регламентирующей медико-психологическое обеспечение длительных экспедиций, работающих на околоземной орбите.

В настоящее время при планировании суточного распорядка деятельности членов экипажей МКС необходимо руководствоваться следующими основными требованиями:

- продолжительность суточного цикла – 24 ч;
- продолжительность сна – 8,5 ч;
- максимально возможная стабильность положения периода сна на 24-часовой шкале;
- операции с системами и полезной нагрузкой – 6,5 ч;
- приемы пищи 3 раза в день (завтрак, обед, ужин);
- физические тренировки – 2,5 ч;

Структура номинальной рабочей недели должна предусматривать 5 рабочих и 2 нерабочих (выходных) дня.

Важность четкого соблюдения указанных требований определяется особыми условиями космического полета, затрудняющими функционирование организма как системы, объединяющей множество ритмических процессов. Такое единство является залогом здоровья и высокой устойчивой работоспособности.

Десинхроноз

В обыденной жизни согласованная деятельность всех составных частей организма обеспечивается контактом с внешними периодическими сигналами, прежде всего с ритмической сменой естественной освещенности, т.е. с чередованием дня и ночи в рамках 24-часового суточного цикла. Такие сигналы называются датчиками времени. Они регулируют переходы от сна к бодрствованию и от бодрствования ко сну. В космическом полете 24-часовой цикличности свето-темновой обстановки нет, и это мешает настраивать ритм сна – бодрствования человека, а вместе с ним и все другие жизненные ритмы, на нужный лад. Роль такого настройщика в космическом полете выполняет стереотипный жизненный распорядок, в основе которого лежит 24-часовая цикличность всех его элементов, необходимая космонавту для поддержания функционального единства организма и, следовательно, сохранения здоровья и работоспособности. Пренебрежение требованиями к рациональной организации труда

и отдыха может привести к развитию десинхроноза – болезненного состояния, обусловленного нарушением функциональной взаимосвязи (взаимной синхронизации, согласованности во времени) ритмических процессов организма. Симптомами десинхроноза являются расстройства сна, ухудшение аппетита, раздражительность, быстрая утомляемость. Длительно текущий десинхроноз может переходить в хроническую форму с развитием гастрита, язвенной болезни органов пищеварения, нарушений сердечной деятельности (кардионеврозов).

Рациональная организация труда и отдыха космонавтов преследует цель профилактики десинхроноза, сохранения здоровья и работоспособности участников космических экспедиций. Наряду с орбитальными полетами действующие требования к рациональной организации труда и отдыха должны использоваться в межпланетных полетах, а также на инопланетных базах. Это относится в первую очередь к лунным экспедициям.

Мониторинг режима труда и отдыха (РТО)

В 1973 г. на базе московского Центра управления полетами (ЦУП) была создана ныне действующая Главная оперативная группа управления (ГОГУ), составной частью которой стала Группа медицинского обеспечения (ГМО). С этого времени в составе ГМО, помимо других специалистов, работают эксперты, осуществляющие полетный мониторинг РТО членов экипажей.

В обязанности специалистов по РТО входит:

- участие в планировании режима труда и отдыха космонавтов;
- контроль и оценка текущего РТО и разработка предложений по его оптимизации;
- анализ причин нарушений РТО и формирование предложений по их устранению;
- подготовка данных по фактическим затратам времени экипажа на служебно-бытовые операции для внесения в ежедневный и недельный отчеты по выполнению программы полета МКС;
- участие в составлении недельных и этапных заключений о состоянии здоровья космонавтов.

В процессе мониторинга ежедневно регистрируются продолжительность рабочей зоны (плановая и фактическая), длительность сна, смещения периода сна к необычному времени суток (сдвиги сна), соблюдение графика приема пищи и физических тренировок, занятость работой в выходные дни. Фиксируются субъективные оценки РТО и особенности самочувствия космонавтов. Информация об особенностях самочувствия предоставляется специалистами-психоневрологами ГМО.

Результаты ежедневных наблюдений суммируются в еженедельных заключениях, завершаемых общим выводом о возможности продолжения полета. Накануне выполнения каждого очередного

сеанса внекорабельной деятельности (ВКД) проводится анализ РТО космонавтов, которые будут осуществлять выход в открытый космос, с учетом данных не только текущего периода, но и предшествующих недель полета. На основе такого анализа выносится заключение о допуске этих лиц к предстоящей операции.

После возвращения из полета космонавты проводят собеседование (брифинг) с наземными специалистами, в котором принимают участие и эксперты ЦУПа. Все полетные и послеполетные материалы, полученные экспертами по РТО, обобщаются ими в итоговом отчете.

Ретроспективный анализ полетного РТО

Информационный ресурс мониторинга РТО не исчерпывается потребностями текущего наблюдения за полетным РТО. В полной мере этот ресурс может быть мобилизован после завершения каждого полета в процессе ретроспективного анализа полученных данных. Практический опыт ретроспективного анализа РТО в процессе полетов на орбитальной станции (ОС) «Мир» и МКС позволил рассматривать каждую неделю полета с точки зрения напряженности РТО с определением конкретного объема занятости членов экипажа на основе расчета временных затрат на выполнение плановых и внеплановых заданий. (Напряженным считается такой РТО, который несет в себе опасность снижения работоспособности вследствие утомления, вызванного чрезмерно высокими рабочими нагрузками и нарушениями распорядка сна, в основном смещениями, или сдвигами, периода сна к непривычному времени суток.) Такой подход может быть использован в текущем полетном режиме, что позволит своевременно предпринимать меры по коррекции РТО путем снижения рабочей нагрузки (в случае сверхнормативной занятости) и нормализации распорядка сна.

Согласно расчетам, выполненным применительно к группе полетов на МКС (экспедиции 26/27–39/40), все эти полеты (за исключением одного-единственного) были отмечены сверхнормативными работами. В среднем каждый космонавт за 1 полетную нед перерабатывал сверх норматива (6,5 ч в день) по 3,5 ч, и, следовательно, за 1 полетный день – по 0,5 ч. Реальные переработки в конкретных экспедициях могли быть и больше, и меньше. В ряде полетов сверхнормативная нагрузка 1 космонавта не превышала 2 ч в нед (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 нед (60 мин в день).

Использование ретроспективного анализа позволило установить связь качества деятельности членов экипажей с уровнем напряженности РТО: показано, что более высокому уровню напряженности

соответствует большее число ошибок, допускаемых космонавтами в процессе выполнения профессиональных операций.

Оценка результатов полетного мониторинга РТО

Главный результат полетного мониторинга РТО российских космонавтов состоит в том, что на его основе были получены дополнительные аргументы в пользу действующих требований к рациональной организации труда и отдыха человека в космосе. Ранее эти требования базировались на результатах анализа данных литературы, теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в нашей стране в 60–80-е годы XX столетия [1–2, 4]. Сегодня их важность подтверждена многолетним опытом полетного мониторинга РТО, показавшим, что отклонения от требований к РТО заключают в себе потенциальную опасность ухудшения состояния членов экипажей, падения работоспособности и увеличения количества ошибочных действий.

Данные полетного мониторинга РТО, накопленные в нашей стране, учитываются в работе Международной рабочей группы «Поведение и деятельность человека в космическом полете» (Spaceflight human behavior and performance working group). Они использовались при подготовке ряда действующих полетных документов, а также «Руководства по управлению циркадианной десинхронией при работе на МКС» (Guidelines for management of circadian desynchrony in ISS operations), разработанного и согласованного специалистами 5 космических агентств (Европейского космического агентства, национальных агентств Канады, России, США и Японии).

Современные подходы к организации полетного мониторинга РТО и состояния нервно-психической сферы космонавтов могут быть использованы при проведении лунных пилотируемых экспедиций различного назначения (на траекториях полета по трассе Земля – Луна, в полете по окололунной орбите и во время пребывания на лунной базе). В этой связи необходимо кратко рассмотреть физические условия, с которыми человеку придется столкнуться на Луне (прежде всего в той части, которая может иметь какое-то отношение к РТО), и предположительный сценарий поэтапного развертывания лунной программы.

Физические условия на Луне

Осевое вращение Луны занимает 27 земных сут, поэтому на день и ночь уходит по 13,5 земных сут. На освещенной стороне градусник мог бы отметить 123 °С. В это время темная сторона охлаждается до -153 °С.

В кратерах температура достигает -283 °С на южном и -247 °С на северном полюсах. Это максимально холодная температура, которую фиксировали в

пределах нашей системы (даже холоднее Плутона). Исследователи думают, что в этих кратерах может скрываться лед. Сила тяжести на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле и, следовательно, составляет 0,17 g.

Предполагаемый сценарий развертывания лунной программы

Поскольку окончательного сценария поэтапного развертывания лунной программы сегодня не существует, придется ориентироваться на предполагаемый сценарий, который складывается из доступных данных (интернет-источники, материалы Рабочей группы по реализации комплексной программы освоения Луны. 4 апреля 2014 г. Роскосмос, материалы ИКИ и др.). При этом интерес представляют только пилотируемые составляющие лунной программы.

1-й этап. Пилотируемые миссии без высадки человека на Луну, в том числе длительное (многосуточное) пребывание экипажа на окололунной орбите (Лунная орбитальная станция на базе космического корабля «Федерация»). Одна пилотируемая миссия даже без высадки человека на Луну сможет обеспечить эффективное выполнение одновременно нескольких автоматических миссий на поверхности Луны (с борта космонавты будут управлять роботами-автоматами, находящимися на Луне).

Первый пилотируемый полет к Луне предполагается выполнить в 2023 г. (в 2020 г. – беспилотный полет).

2-й этап. Первая экспедиция российских космонавтов с высадкой на поверхность Луны и последующим возвратом на орбитальный корабль. Не исключено, что будет выполнена серия таких высадок. Продолжительность однократного пребывания на Луне, по одним данным, несколько дней, по другим – от 1 до 2 нед (чтобы уложиться в 2-недельный светлый период лунных суток).

Эксперты считают, что первая посадка российского космонавта на поверхность Луны при наличии должных объемов финансирования состоится в 2030 г. (по другим данным – в 2028 г.).

3-й этап. Строительство и эксплуатация длительно функционирующей посещаемой базы с многомесячным пребыванием сменных экспедиций.

Создание российской лунной базы относят к 2040 г.

Прогнозируемые риски, сопутствующие реализации лунной программы, и способы устранения их негативного влияния

В числе рисков, которые могут создавать проблемы при выполнении лунной программы, следует прежде всего отнести нарушения сна. В космическом полете присутствует множество факторов, провоцирующих нарушения сна (рисунок) и

приводящих к негативным последствиям. Эти факторы сопутствуют пребыванию человека в космическом корабле. Предполагаем, что они будут сопровождать 1-й и 2-й этапы лунной программы. На 3-м этапе (жизни на лунной базе) по-видимому, будет возможность создать более комфортные условия обитания, благодаря чему кое-каких факторов дискомфорта удастся избежать или, по крайней мере, минимизировать их проявления (жара, духота, плохо оборудованные спальные места, шум). Схема, представленная на рисунке, показывает, что риск нарушений сна в условиях космического полета носит поликаузальный (многопричинный) и полиэфекторный (сопровождающийся множеством реакций) характер.

Поскольку нарушения сна означают нарушения не просто одного из двух компонентов ритма сна – бодрствования, но обеих теснейшим образом взаимосвязанных составляющих этого ритма, и поскольку этот ритм является ведущим в обеспечении слаженной работы всех систем организма, их взаимной синхронизации, постольку нарушения сна могут быть не только следствием десинхроноза, но и его причиной. Следовательно, одним из последствий нарушений сна может стать десинхроноз, который должен рассматриваться в числе рисков, сопутствующих реализации лунной программы.

Как уже было указано, ведущим средством профилактики десинхроноза в условиях космического полета является рационально спланированный и четко выполняемый РТО, построенный на основе 24-часовой цикличности сна – бодрствования и стабильного положения периода сна (и, следовательно, периода бодрствования) в рамках суточного цикла.

Поддержанию ритма сна – бодрствования в этих условиях может способствовать прием за 0,5–1 ч до отхода ко сну гормона сна мелатонина (торговое название препарата мелаксен). Есть основания ожидать, что в недалеком будущем в широком обиходе появится препарат естественного активатора бодрствования орексин, утренний прием которого поможет поддерживать должный уровень бодрствования (в медицинской практике этот препарат должен найти применение при лечении нарколепсии – патологической сонливости). Целесообразно также использовать инструментальный контроль качества и количества сна с помощью постоянно (или периодически) носимого актографического устройства типа американского Actiwatch (наручные часы-актограф).

Для сохранения суточного ритма сна – бодрствования можно рекомендовать использование динамического освещения интерьера космического объекта на основе имитации природной утренне-вечерней динамики световой обстановки. Есть все основания полагать, что динамическое освещение

окружающего пространства целесообразно комбинировать с локальным освещением рабочего места постоянным достаточно ярким светом, подобно тому, как это происходит в офисах земных учреждений в пасмурные дни.

Как показано на рисунке, нарушения сна могут быть обусловлены плановыми и неплановыми (при нештатных ситуациях) сдвигами сна. В полетах на МКС плановые сдвиги сна сопровождают ВКД и прием грузовых (беспилотных) и транспортных (пилотируемых) кораблей. Сдвиги могут осуществляться как с запаздыванием, так и опережением начала сна относительно штатного распорядка. В полетах на МКС величина таких сдвигов варьирует от 1–1,5 ч в одних случаях, до 12 ч – в других. Частые повторные сдвиги сна могут тяжело отражаться на состоянии космонавтов. Вот что рассказал об этом один из российских космонавтов: «Особенно остро мы почувствовали сдвиг зоны сна где-то за 1,5–2 мес до окончания полета, когда работали практически в перевернутом режиме, – сон был сдвинут сначала влево на 4 ч (на 28 сут), затем вправо на 6–12 ч (на 35 сут). В этот период мы полностью потеряли ощущение дня и ночи и спали, когда это представлялось возможным. Не всегда приятно говорить про себя такие вещи, но были периоды, когда голова полностью не соображала, появлялись настолько глупые ошибки, что потом сам не мог дать рационального объяснения их появлению: смотришь на одну кнопку, а нажимаешь на другую... В общем, коэффициент одурения очень высокий. В результате этого вероятность появления ошибочных действий увеличивается и соответственно возможна неадекватная реакция на рекомендации Земли, неадекватная трактовка документации. Кроме того, увеличивается время принятия решений, что естественно снижает работоспособность и производительность труда. На простую работу, на простую операцию, которую знаешь, которую много раз делал, уходит времени больше в несколько раз. Пошел за какой-то вещью, по дороге забыл, за чем пошел; взял что-то в руки и думаешь, а зачем я это взял. Это все результат рассеянности, трудности сосредоточения внимания на каком-либо предмете и факте, на какой-либо деятельности. Концентрация внимания очень низкая, требуются большие усилия, большие ресурсы, затраты, чтобы удерживать внимание сконцентрированным на том, что ты делаешь. В результате уровень усталости к концу рабочего дня очень высокий. Помимо этого сдвиги сна очень сильно снижают эффективность физических тренировок. Были случаи, когда приходилось заниматься через силу, а иногда организм наотрез отказывался выполнять физические упражнения. В какой-то момент, ситуация дошла до близкой к критической, и я уже был почти готов просить пощады у руководства полетом» [5].

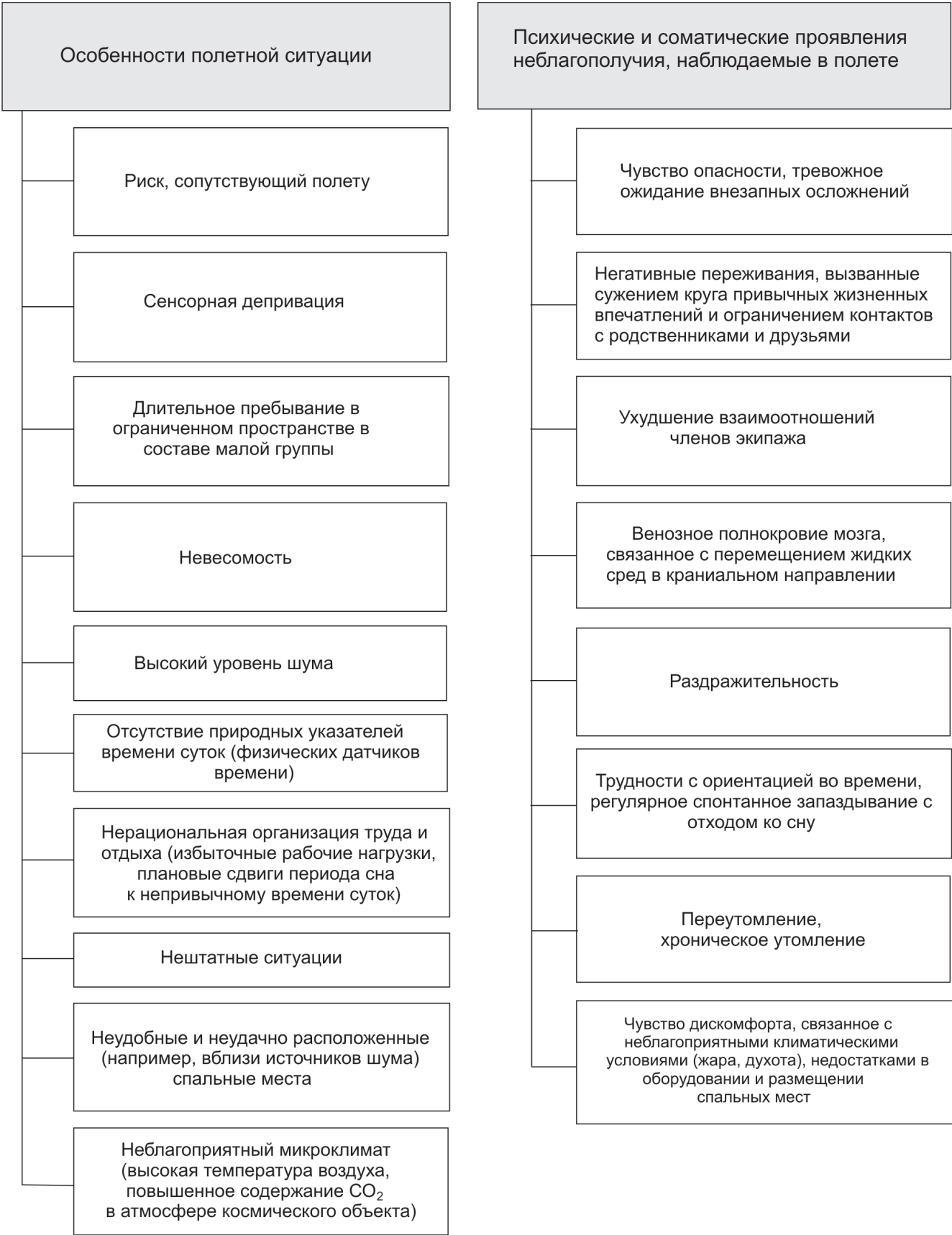


Рисунок. Причины нарушения сна в космическом полете

Описанная симптоматика полностью укладывается в картину десинхроноза.

К изложенному нужно добавить, что, по нашим данным, в первую неделю после 12-часового сдвига сна продуктивность при выполнении операторской деятельности падает на 30–45 % по отношению к исходному уровню, т.е. сохранной остается только 55–70 % первоначальной производительности.

Одним из существенных препятствий для успешного выполнения программы освоения Луны является избыточная операционная занятость членов экипажей, т.е. сверхнормативная рабочая загруженность. Ее следует рассматривать как прямой путь к развитию утомления и хронического утомления (переутомления). В происхождении избыточной занятости членов экипажей МКС играют большую роль выполнение операций стыковки и перестыковки транспортных и грузовых кораблей; подготовка и проведение внекорабельной деятельности, разгрузка прибывающих и загрузка убывающих грузовых и транспортных кораблей, работы по техническому обслуживанию систем станции и аппаратуры (профилактические и ремонтно-восстановительные работы), выполнение заданий по программе Task List и по просьбам наземных служб. Причиной избыточных рабочих нагрузок нередко становится нерациональное планирование, в соответствии с которым на выполнение ряда операций (в частности, погрузочно-разгрузочных работ) выделяется недостаточно времени; поэтому такое планирование получило название хронодефицитного.

Важно подчеркнуть, что объем сверхнормативной нагрузки 1 космонавта зависит от численности экипажа: в малочисленных экипажах (1–2 человека) он проявляет тенденцию к возрастанию по сравнению с экипажами в составе 3 человек.

В качестве возможных причин развития утомления и хронического утомления следует назвать работу «на физиологических резервах» во время пребывания на Луне и на окололунной орбите; неравномерное распределение обязанностей между членами экипажа, приводящее к перегрузке некоторых участников экспедиции; избыточную насыщенность полетной программы, не соответствующую численности экипажа.

Последствиями утомления и переутомления могут быть снижение работоспособности и профессиональной надежности, расстройства сна, невротические расстройства. В связи с этим нужно иметь в виду, что так называемым острым состояниям часто предшествуют предвестники, доступные вниманию квалифицированного специалиста. Так, например, острое, ярко выраженное утомление предваряется стадией, отмеченной более «мягкой» симптоматикой, и попытка купировать возникшее неблагополучие на этой первоначальной стадии, безусловно, окажется более эффективной, чем тогда, когда

процесс зашел слишком глубоко и приобрел резкую выраженность. Поэтому одной из задач медико-психологического контроля за состоянием космонавтов – участников лунной программы необходимо считать выявление ранних предвестников приближающихся острых ситуаций, чтобы путем своевременного вмешательства повернуть ход событий в лучшую сторону. В ряде случаев этому может помочь и самонаблюдение. Так, можно научить человека предупреждать аффективные вспышки на ранних стадиях их развития, когда психическое состояние еще поддается самоконтролю и самостоятельному управлению.

В полетах по лунной программе можно использовать следующие подходы к профилактике развития утомления:

- при составлении полетной программы соизмерять ее объем с численностью экипажа;
- не допускать хронодефицитного планирования;
- осуществлять мониторинг психического состояния с пристальным вниманием к возможному развитию утомления;
- не исключать возможности наличия утомления при положительных оценках членами экипажа своего самочувствия;
- считать коррелятами утомления жалобы на усталость, просьбы предоставить дополнительное время для сна наряду с появлением и нарастанием числа ошибочных действий;
- контролировать наличие и объем сверхнормативных работ;
- постоянно отслеживать количество и характер ошибочных действий членов экипажа;
- не допускать занятости работой выходных дней, предоставляя в эти дни полноценный отдых;
- при появлении признаков стойкого утомления предоставлять дополнительное время для отдыха;
- мониторировать РТО, оценивая достаточность и восстановительный эффект сна.

В случае развития хронического утомления возможно временное отстранение от работы с проведением лечебно-оздоровительных мероприятий. Это, скорее всего, будет возможно только на 3-м этапе развертывания лунной программы.

Десинхроноз, утомление и переутомление могут играть серьезную роль в патогенезе синдрома психической астенизации (астенического синдрома), квалифицируемого как переходное состояние между здоровьем и болезнью. Астенический синдром считается обратимым состоянием, допускающим восстановление нарушенных процессов после прекращения действия вызвавших его причин. В космическом полете определяющую роль в развитии астенического синдрома играет эмоциональный стресс.

В соответствии с принятой классификацией [6] 1-я стадия развития астенического синдрома в условиях космического полета проявляется главным образом в повышенной эмоциональной возбудимости. Вторая стадия характеризуется симптомокомплексом, ядром которого является неустойчивость настроения, частое появление чувства усталости, снижение качества выполнения профессиональных операций, признаки ухудшения сна. Для 3-й стадии типичны устойчиво сниженный фон настроения, подчеркнутая раздражительность, конфликтная напряженность, ипохондрические феномены, частые и грубые ошибки при выполнении профессиональной деятельности, выраженные расстройства сна (требующие систематического применения снотворных).

В космических полетах, как правило, отмечаются проявления первых 2 стадий психической астенизации. Однако в отдельных случаях можно наблюдать развернутую картину астенического синдрома, достигающую 3-й стадии.

Признаки психической астенизации могут появиться примерно в сроки от 3-го до 6-го месяца полета, либо позже – в любой момент, вплоть до его завершения (т.е. на 2-м и 3-м этапах развертывания лунной программы).

Для профилактики психической астенизации очень важно иметь на борту космического корабля индивидуальные каюты. Не менее важным условием является обеспечение социально-психологической поддержки экипажа в течение всего полета.

В процессе подготовки и реализации пилотируемых полетов по российской лунной программе в части организации труда и отдыха необходимо будет разрабатывать конкретные варианты РТО участников полетов по окололунной орбите, членов экспедиций с высадкой (множественными высадками) на поверхность Луны и последующим возвратом (возвратами) на орбитальный корабль, а также РТО участников строительства и эксплуатации посещаемой лунной базы с многомесячным пребыванием сменных экспедиций.

Эта работа потребует информации следующего содержания:

- общая продолжительность экспедиции;
- численный и профессиональный состав экипажа;
- распределение членов экипажа между лунным модулем и транспортным орбитальным кораблем, технология их взаимодействия;
- организация работы с круглосуточным дежурством либо с совместным сном всех членов экипажа;
- сроки начала и завершения строительства обитаемой лунной базы;
- на лунной базе: организация работ в темный и светлый периоды лунных суток.

На всех этапах реализации лунной программы понадобится мониторинг РТО в сочетании с мониторингом психического состояния космонавтов. Осуществление мониторинга участников лунных экспедиций во многом будет зависеть от присутствия врача в экипаже. На 1-м этапе это вряд ли будет возможно из-за ограничения численности экипажа двумя, максимум тремя космонавтами. Экспедиции 2-го этапа будут, видимо, более многочисленными, поэтому врач может быть включен в состав экипажа. На 3-м этапе присутствие врача на лунной базе должно быть обязательным. В круг его обязанностей, помимо прочего, будет входить контроль за РТО и психическим состоянием участников экспедиции. Возможно также, что эти функции будут осуществляться врачом совместно с наземной группой обеспечения полета. Детально все эти вопросы предстоит рассмотреть в процессе подготовки лунных экспедиций.

Выводы

1. Многолетний опыт организации труда и отдыха участников околоземных орбитальных полетов должен использоваться в процессе осуществления российской лунной программы.
2. Прогнозируемые медицинские и психологические риски, сопутствующие реализации лунной программы, связаны с возможностью нарушений сна, развития десинхроноза, утомления, переутомления, психической астенизации.
3. При подготовке и осуществлении лунной программы должны быть предусмотрены мероприятия по профилактике и купированию негативного влияния медико-психологических факторов риска, а именно: рациональная организация труда и отдыха космонавтов; планирование работ с учетом медицинских ограничений объема рабочих нагрузок; мониторинг РТО и психического состояния членов экипажей.

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

Список литературы

1. Алякринский Б.С. Основы научной организации труда и отдыха космонавтов. М., 1975.
Alyakrinsky B.S. Scientific organization principles of work and rest of cosmonauts. Moscow, 1975.
2. Алякринский Б.С. Биологические ритмы и организация жизни человека в космосе. М., 1983.
Alyakrinsky B.S. Biological rhythms and the organization of human life in space. Moscow, 1983.
3. Степанова С.И. Актуальные проблемы космической биоритмологии // Проблемы космической биологии. Т. 23. М., 1977.

Stepanova S.I. Actual problems of space biorhythmology // Problems of space biology. V. 23. Moscow, 1977.

4. Лицов А.Н. Суточная периодика физиологических функций и работоспособности человека при режиме с частой сменой периода сна и бодрствования // Косм. биол. и мед. 1971. Т. 5. № 1. С. 44–52.

Litsov A.N. Daily periodicities of human physiological functions and of the performance in the conditions with frequent changes in sleep and wakefulness regime // Kosmicheskaya biologia i meditsina. 1971. V. 5. № 1. P. 44–52.

5. Степанова С.И., Нестеров В.Ф., Сараев И.Ф. и др. Организация труда и отдыха членов экипажей МКС-1 – МКС-20 // Международная космическая станция. Российский сегмент. Т. 1. Медицинское обеспечение экипажей МКС. Москва, 2011. С. 172–195.

Stepanova S.I., Nesterov V.F., Sarayev I.F. et al. Work-rest organization of crew members ISS-1 – ISS-20 // International Space Station. Russian segment. V. 1. Medical support of ISS crews. Moscow, 2011. P. 172–195.

6. Мясников В.И., Сальницкий В.П., Козеренко О.П. и др. Проблема психической астенизации в длительном космическом полете. М., 2000.

Myasnikov V.I., Salnitskiy V.P. Kozerenko O.P. et al. The problem of mental asthenia in long-duration spaceflight. Moscow, 2000.

Поступила 22.10.2018

THEORETICAL AND APPLIED ASPECTS OF WORK AND REST SCHEDULING FOR MEMBERS OF MISSIONS ACCORDING TO THE RUSSIAN LUNAR PROGRAM

Stepanova S.I., Koroleva M.V., Karapetyan A.S., Galichiy V.A., Karpova O.I.

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

The paper addresses the operational requirements to work and rest schedule for Russian crewmembers of the International space station and risks associated with their violation. Measures aimed to prevent and control the negative psycho-medical effects of these risks are being discussed in relation to the prospective Russian Lunar program.

Key words: cosmonaut's work and rest schedule, flight work-rest schedule monitoring, Russian Lunar program, jetlag, sleep disorders, fatigue, overfatigue, asthenization of the nervous system.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2020. V. 54. № 1. P. 23–30.

УДК 612.172.2+611.08

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРЕБЫВАНИИ В УСЛОВИЯХ ОРТОСТАТИЧЕСКОЙ И АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ

Руденко Е.А.¹, Черепов А.Б.^{1, 2}, Баранов М.В.¹, Лебедева М.А.^{1, 2}, Хлебникова Н.Н.²

¹Научно-исследовательский институт космической медицины, Москва

²Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии, Москва

E-mail: katrud@mail.ru

Цель данного исследования – изучение влияния ортостатической гипокинезии (ОГ) на вегетативную регуляцию сердечно-сосудистой системы и сравнение ее эффектов с эффектами модели микрогравитации – антиортостатической гипокинезией (АНОГ). В статье представлены результаты 2 серий эксперимента. Показано, что основным ответом на гипокинезию является ослабление парасимпатического и преобладание симпатического влияния на сердечно-сосудистую систему. В наибольшей степени это выражено в модели микрогравитации – АНОГ. Изменения вектора гравитации в течение суток (переход из вертикального в горизонтальное положение на время ночного сна) в ОГ длительностью до 2 нед не оказывают влияния на вегетативную регуляцию сердечно-сосудистой системы. Ключевым фактором в динамике вегетативного баланса является исходный тип вегетативной регуляции.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, спироартериокардиоритмограф, индекс вегетативного баланса, антиортостатическая гипокинезия, ортостатическая гипокинезия.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 31–37.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-31-37

Исследования вегетативной регуляции кровообращения в условиях микрогравитации проводили с первых пилотируемых полетов. Накоплен огромный опыт не только в методологии регистрации и интерпретации данных по регуляции системы кровообращения, но и сформулирована концепция оценки состояния здоровья космонавтов, исходя из адаптационных возможностей организма [1, 2]. Сердечно-сосудистая система, являющаяся индикатором адаптационных возможностей организма, реагирует на весь комплекс неблагоприятных факторов космического полета. Однако ведущим среди них является невесомость.

В ближайшие годы ведущие космические державы планируют перейти от пилотируемых полетов по околоземной орбите к освоению Луны со строительством лунных баз. Перед специалистами

космической медицины встает новая задача: решение проблемы пониженного уровня гравитации и его влияния на организм космонавтов. Предполагается, что механизмы воздействия гипогравитации на организм человека будут схожи с воздействием микрогравитации, а выраженность ее физиологических эффектов будет напрямую зависеть от степени снижения силы тяжести. Однако для разработки системы медицинского обеспечения этих полетов необходимо проведение опережающих экспериментов для оценки влияния пониженного уровня гравитации на основные системы организма человека.

Схожесть механизмов воздействия микро- и гипогравитации на организм человека дает возможность в качестве модели гипогравитации использовать ортостатическую гипокинезию с углом наклона 9,6° [3]. Согласно математическим расчетам, степень перераспределения жидких сред организма, изменения гидростатического давления и опорная разгрузка в этих условиях будут соответствовать физиологическим сдвигам в организме космонавтов на лунной поверхности.

Цель данного исследования – изучение влияния ортостатической гипокинезии (ОГ) на вегетативную регуляцию сердечно-сосудистой системы и сравнение ее эффектов с эффектами модели микрогравитации – антиортостатической гипокинезией (АНОГ).

Методика

Исследования проводили с участием добровольцев в условиях стационара. Проведены 2 серии исследований продолжительностью 21 и 14 сут.

В 1-й серии, посвященной сравнению вегетативной регуляции при моделировании гипо- и микрогравитации, приняли участие 22 испытуемых (здоровые мужчины-добровольцы в возрасте 18–35 лет). Испытуемые находились в условиях АНОГ с углом наклона -6° (модель микрогравитации) в течение 5 сут. На 6-е сутки они были разделены на 2 группы: 1-я группа АНОГ (10 человек), оставалась в условиях антиортостатической гипокинезии с углом наклона

-6° до 21-х суток, 2-я группа ОГ (12 человек) в дневное время находилась в условиях ортостатической гипокинезии +9,6°, а на время ночного сна (с 23.00 до 7.00) переводилась в горизонтальное положение.

Поскольку группа ОГ в ночное время находилась в горизонтальном положении, то она подвергалась не только воздействию «пониженной гравитации», но и изменениям положения тела в течение 1 сут. Для оценки влияния горизонтального положения в течение 8 ч (время ночного сна) на физиологические параметры, в условиях моделирования эффектов гипогравитации, была проведена 2-я серия эксперимента длительностью 14 сут, в которой приняло участие 24 человека, и также было выделено 2 группы. В 1-й группе ОГ16 воздействие заключалось в пребывании испытуемых в ортостатическом положении с углом наклона тела относительно горизонтальной поверхности +9,6° на дневной период (с 07.00 до 23.00) и горизонтальном положении на ночной период (с 23.00 до 07.00). Во 2-й группе ОГ24 испытуемые находились в ортостатическом положении с углом наклона тела относительно горизонтальной плоскости +9,6° на всем протяжении исследования.

Исследования проводили на спироартериокардиоритмографе (САКР) (ООО «ИНТОКС», Россия) – приборе, предназначенном для непрерывного неинвазивного измерения артериального давления, регистрации потоков вдыхаемого и выдыхаемого воздуха и записи электрокардиограммы (ЭКГ).

Сеанс обследования включал в себя 3 непрерывных последовательных измерения на приборе САКР: 1) без использования дыхательной маски – 2 мин и соответственно без регистрации дыхания (покой); 2) с использованием дыхательной маски – 2 мин, с регистрацией дыхания в произвольном темпе (маска); 3) проба с фиксированным темпом дыхания 6 дыхательных цикл/мин (ФТД-10) – 2 мин, с использованием дыхательной маски и регистрацией дыхания.

Методику использовали в фоновом периоде и в последний день гипокинезии. Исследование проводили в одно и то же время (утренние часы), через 2 ч после приема пищи, в фоновом периоде в горизонтальном положении, в гипокинезии под углом наклона, соответствующим в данный момент циклограмме исследования.

Согласно Стандартам Европейского общества кардиологов [4], в 2-минутных записях ЭКГ не рекомендуется оценивать очень медленные волны (VLF), поэтому в качестве основных показателей были взяты общая мощность спектра (TP – total power), высокочастотные и низкочастотные компоненты спектра, а также индекс вегетативного баланса (ИББ), рассчитанный как отношение медленных волн к быстрым (LF/HF).

Высокочастотная составляющая спектра (HF – high frequency) или дыхательные волны характеризует активность парасимпатической части

вегетативной нервной системы.

Низкочастотную составляющую спектра (LF – low frequency), отражающую симпатическое влияние, формируют медленные волны 1-го порядка или волны Майера, которые характеризуют состояние системы регуляции сосудистого тонуса и сосудодвигательного центра [5].

Все приведенные в статье измерения параметров в группах по экспериментам представлены в виде медианных значений (Md), 1-го квартиля (Q1, 25-й процентиль, 25 %) и 3-го квартиля (Q3, 75-й процентиль, 75 %). Материалы исследований обработаны статистически с использованием критерия Вилкоксона (Wilcoxon matched-pair test) для определения значимости внутригрупповых изменений и критерия Манна – Уитни (Mann – Whitney U-test) для оценки различий между группами. Изменения считали достоверными при $p < 0,05$.

Программа эксперимента была обсуждена и одобрена Комиссией по биомедицинской этике ФГБУ ФНКЦ ФМБА России.

Результаты и обсуждение

Данные по спектральному анализу variability сердечного ритма (BCR) по группам представлены в таблице.

При сравнении полученных данных можно отметить, что достоверных изменений в общей мощности спектра после гипокинезии в состоянии покоя не отмечено ни в одной из групп. Однако при анализе реакции на функциональные пробы (с дополнительным мертвым пространством и фиксированным темпом дыхания) видна отчетливая тенденция к снижению прироста общей мощности спектра как в группе с АНОГ, так и в группах с ОГ при пробе ФТД-10. В группе АНОГ отмечено статистически значимое снижение TP в пробе с маской ($p < 0,05$; Wilcoxon) и в пробе с фиксированным темпом дыхания ($p < 0,01$; Wilcoxon); в группе ОГ – снижение TP в пробе с фиксированным темпом дыхания ($p < 0,05$; Wilcoxon). Выявлены достоверные межгрупповые различия в конце эксперимента, TP в группе АНОГ была выше, чем в группе ОГ ($p < 0,05$; Mann – Whitney) в ходе пробы ФТД-10 (рис. 1).

При анализе данных в 1-й серии эксперимента можно отметить существенную разницу между АНОГ и ОГ в покое. В АНОГ происходило сокращение доли быстрых волн в структуре спектра, почти в 2 раза, что свидетельствует о сокращении роли парасимпатического влияния в регуляции сердечной деятельности. Соотношение быстрых и медленных волн в группе ОГ в покое практически не изменилось по сравнению с фоновыми данными (рис. 2). Возможной это связано с тем, что исходно группа АНОГ характеризовалась большей долей парасимпатических волн в спектре.

Таблица

Спектральные показатели ВСП в различных группах

Наименование параметра, ед. измерения	Проба	До			После		
		Медиана	25 ‰	75 ‰	Медиана	25 ‰	75 ‰
АНОГ							
ТР, мс²	Покой	3147,0	1352,4	4313,0	1321,8	654,4	2158,8
	Маска	4285,9	2537,4	6612,0	1710,6	1256,1	3966,5
	ФТД-10	13431,5	9832,0	18656,5	5028,5	3959,6	9440,6
LF, мс²	Покой	818,3	380,3	1308,8	811,1	440,1	1291,6
	Маска	1049,2	562,9	2103,2	620,4	499,2	1030,2
	ФТД-10	11756,8	5736,4	15423,9	4762,5	3407,5	8839,1
HF, мс²	Покой	1736,3	642,6	2536,6	481,4	210,9	864,4
	Маска	2776,6	2138,2	4404,6	920,4	562,2	3020,3
	ФТД-10	1414,5	587,6	2918,8	537,1	268,7	683,0
ИБВ, у.е.	Покой	0,64	0,47	1,73	1,56	1,30	1,97
	Маска	0,47	0,19	0,65	0,60	0,43	1,02
	ФТД-10	4,8	3,8	8,2	15,5	10,0	20,2
ОГ							
ТР, мс²	Покой	1469,2	874,6	2216,3	878,2	437,6	1950,5
	Маска	4332,5	1457,8	5388,1	1429,4	911,1	2957,3
	ФТД-10	9542,8	7665,5	15361,0	3059,0	2780,7	4008,7
LF, мс²	Покой	759,7	439,7	991,4	529,4	317,6	1324,3
	Маска	922,4	550,9	1879,4	831,5	645,1	1208,0
	ФТД-10	7689,0	6726,9	12581,6	2958,8	2467,0	3432,2
HF, мс²	Покой	521,1	371,2	854,1	312,8	156,5	651,9
	Маска	2059,6	592,6	4041,3	479,6	325,1	1224,1
	ФТД-10	927,0	400,0	1751,0	280,5	90,2	591,7
ИБВ, у.е.	Покой	1,5	1,0	3,2	2,3	1,3	2,9
	Маска	0,8	0,3	2,5	1,9	0,9	3,1
	ФТД-10	10,1	5,5	15,0	12,3	5,6	23,3
ОГ16							
ТР, мс²	Покой	3217,1	1527,4	4592,3	2267,8	957,8	4570,4
	Маска	7037,8	5013,1	9836,1	2566,7	1856,5	5460,9
	ФТД-10	20301,0	16227,2	23856,4	8375,0	5729,9	12538
LF, мс²	Покой	1029,7	776,7	2042,8	1283,7	634,3	2958,1
	Маска	2668,1	2064,0	4840,0	1161,6	717,4	3101,5
	ФТД-10	14750,2	9774,9	18900,7	7746,6	5445,1	11374
HF, мс²	Покой	1564,8	590,2	2642,5	711,7	549,7	1766,2
	Маска	2786,5	1437,4	6460,2	1685,6	834,9	2616,7
	ФТД-10	3911,3	2377,1	6333,2	546,0	265,0	1752,6
ИБВ, у.е.	Покой	1,0	0,5	1,6	1,4	1,0	2,3
	Маска	0,9	0,5	2,0	1,1	0,6	1,5
	ФТД-10	5,7	2,5	6,5	11,9	5,9	16,7

продолжение таблицы

Наименование параметра, ед. измерения	Проба	До			После		
		Медиана	25 %о	75 %о	Медиана	25 %о	75 %о
ОГ24							
ТР, мс²	Покой	1324,2	945,0	3680,0	1457,1	629,6	2509,8
	Маска	2987,2	2232,0	4376,4	1968,1	1351,5	3630,5
	ФТД-10	10727,5	5816,9	13657,1	4760,8	3323,9	8230,3
LF, мс²	Покой	615,9	478,7	2381,9	867,0	383,5	1307,1
	Маска	1182,2	802,1	2627,4	1020,1	629,6	2140,9
	ФТД-10	8860,9	5348,4	12413,7	4234,2	3075,2	7095,5
HF, мс²	Покой	639,7	453,7	1215,6	573,3	180,2	914,7
	Маска	1996,5	860,4	2242,6	924,4	608,8	1052,3
	ФТД-10	696,9	415,6	2102,3	500,3	339,7	739,3
ИББ, у.е.	Покой	1,3	0,9	1,8	1,9	0,8	2,3
	Маска	1,6	0,4	2,2	1,2	0,7	2,5
	ФТД-10	8,1	4,6	14,6	9,1	7,3	12,8

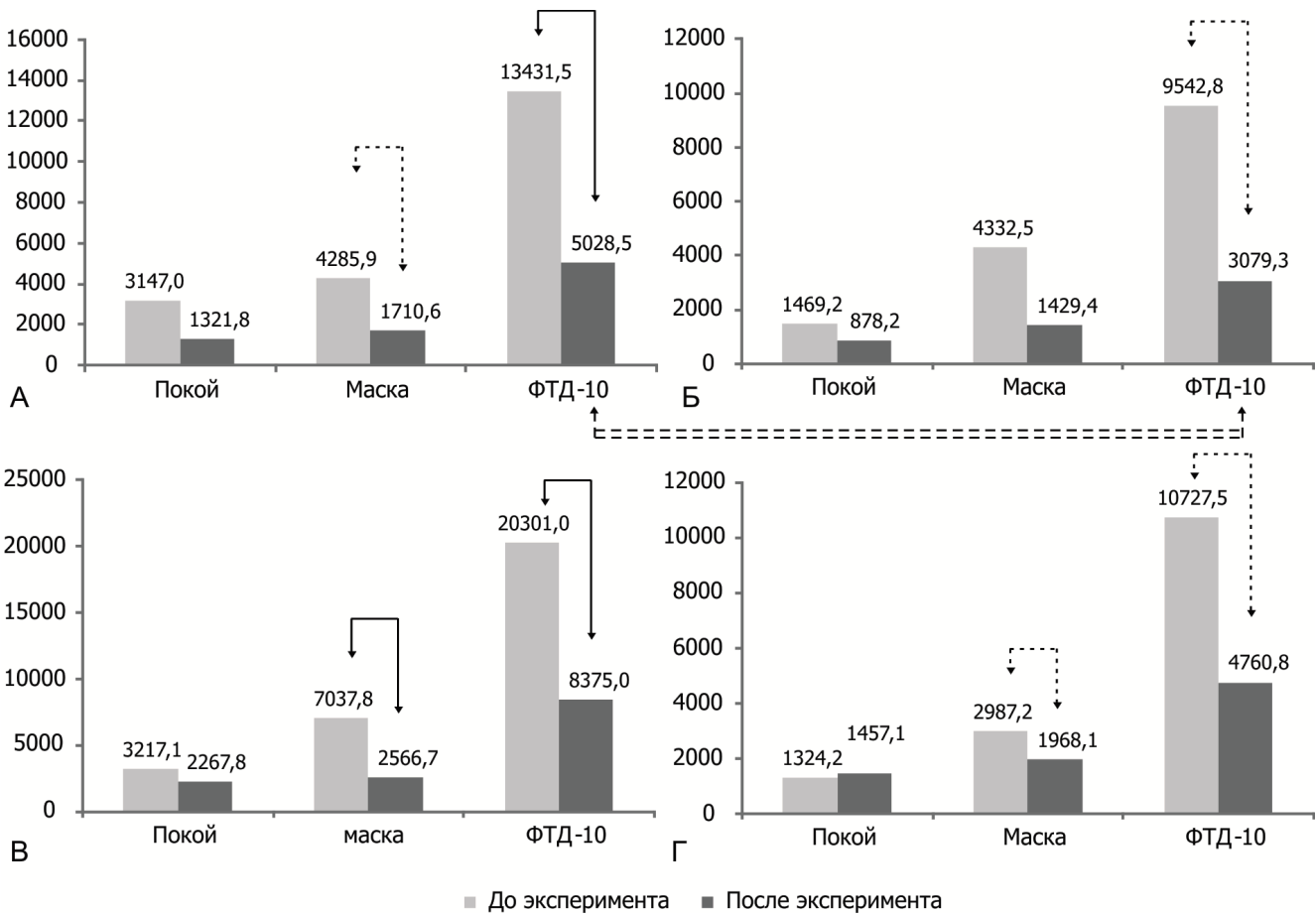


Рис. 1. Уровень общей мощности спектра в 2 сериях эксперимента.
А – АНОГ, Б – ОГ, В – ОГ16, Г – ОГ24; медиана, мс²: ↔ p < 0,01, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; <-> p < 0,05, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; <=> p < 0,05, межгрупповые различия Mann – Whitney U-test

В группе ОГ, несмотря на отсутствие изменений в покое, было получено усиление симпатического влияния после гипокинезии, при дыхании в произвольном темпе с дыхательной маской. Ответ на пробу ФТД-10 после ортостатической гипокинезии

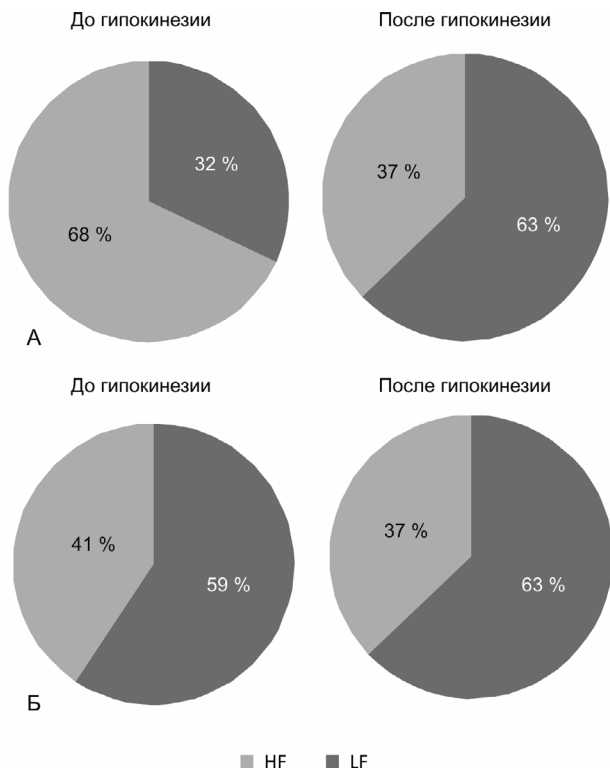


Рис. 2. Спектральные показатели в покое в группах до и после гипокинезии: А – АНОГ; Б – ОГ

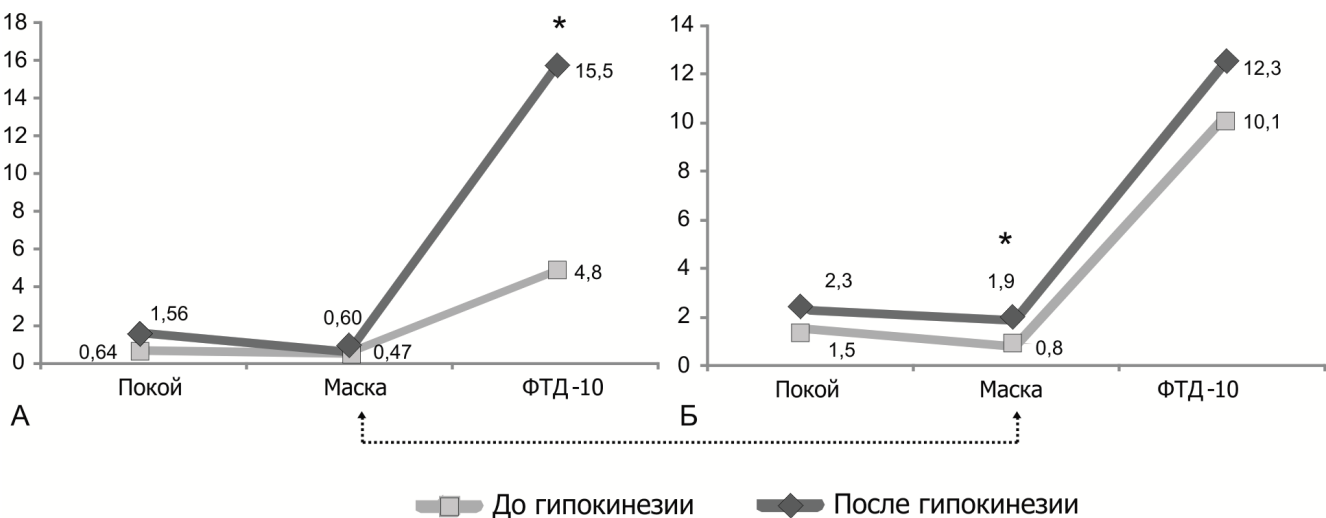


Рис. 3. Индекс вегетативного баланса в группах: А – АНОГ; Б – ОГ. Медиана, у.е.: * – $p < 0,05$, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; – $p < 0,01$, межгрупповые различия Mann – Whitney U-test

не менялся.

Об увеличении симпатического влияния говорит и тот факт, что в обеих группах происходил рост ИВБ как в покое, так и при функциональных пробах. В группе АНОГ отмечали увеличение ИВБ в ФТД-10 ($p < 0,05$; Wilcoxon), в группе ОГ – увеличение ИВБ в пробе с маской ($p < 0,05$; Wilcoxon). Выявлены достоверные межгрупповые различия в пробе с маской, ИВБ в группе ОГ был выше, чем в группе АНОГ ($p < 0,01$; Mann – Whitney) (рис. 3).

Во 2-й серии эксперимента оценивали значимость ежедневного перевода испытуемых на время сна в горизонтальное положение на состояние вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы при пребывании испытуемых в условиях ОГ. Изменения исследуемых параметров происходили в обеих группах. В группе ОГ16 определяли статистически значимое снижение ТР в пробе с маской ($p < 0,01$; Wilcoxon) и в пробе с фиксированным темпом дыхания ($p < 0,01$; Wilcoxon); в группе ОГ24 отмечали аналогичные изменения с несколько меньшим уровнем значимости ($p < 0,05$; Wilcoxon).

Динамика соотношения парасимпатического и симпатического влияния на сердечно-сосудистую систему в обеих группах сходна. Однако в ответ на гипокинезию в состоянии покоя изменения были более выражены в группе ОГ16, которая исходно демонстрировала большую долю быстрых волн (HF) в спектре. После воздействия ортостатической гипокинезии в этой группе отмечали более существенное ослабление парасимпатического влияния (рис. 4). Статистически значимых отличий между группами выявлено не было.

ИВБ в покое в обеих группах минимально возрос,

однако в ответ на пробу с ФТД-10 значительное увеличение этого показателя определили только в группе ОГ16 ($p < 0,01$; Wilcoxon) (рис. 5).

При анализе полученных данных по 2 экспериментальным сериям установлено, что в наибольшей степени на динамику показателей вариабельности, помимо основного фактора – гипокинезии, оказывает влияние не угол, под которым находятся

испытатели в ходе воздействия, а исходный тип вегетативной регуляции, характерный для отдельных групп. Так, группы АНОГ и ОГ16 были сходны по доле парасимпатического влияния на общую структуру спектра. В обеих группах доля быстрых волн в покое составляла около 60 % в фоновых исследованиях, а после гипокинезии (как ортостатической, так и антиортостатической) снижалась до 36–37 %. Группы ОГ и ОГ24 с более сбалансированным типом вегетативной регуляции такого значительного снижения не демонстрировали. Кроме того, ИВБ в группах АНОГ и ОГ16 в ответ на пробу ФТД-10 реагировали существенным приростом, что может свидетельствовать о большем парасимпатическом влиянии на сердечную деятельность в этих группах.

Выводы

1. Основным ответом на гипокинезию является ослабление парасимпатического и возрастание симпатического влияния на сердечно-сосудистую систему.
2. Ключевым фактором в динамике вегетативного баланса как в покое, так и в большей степени при функциональных пробах, до и после гипокинезии, являлся исходный тип вегетативной регуляции. Исходное преобладание парасимпатического звена приводило к более выраженному ответу вегетативной системы на экспериментальное воздействие.
3. Смещение вегетативного баланса было более выражено при воздействии АНОГ как модели, характеризующейся большим перераспределением жидких сред в краниальном направлении.
4. В условиях ОГ перевод испытуемых в горизонтальное положение на время ночного сна (8 ч) не вызвал статистически значимых изменений в регистрируемых показателях.

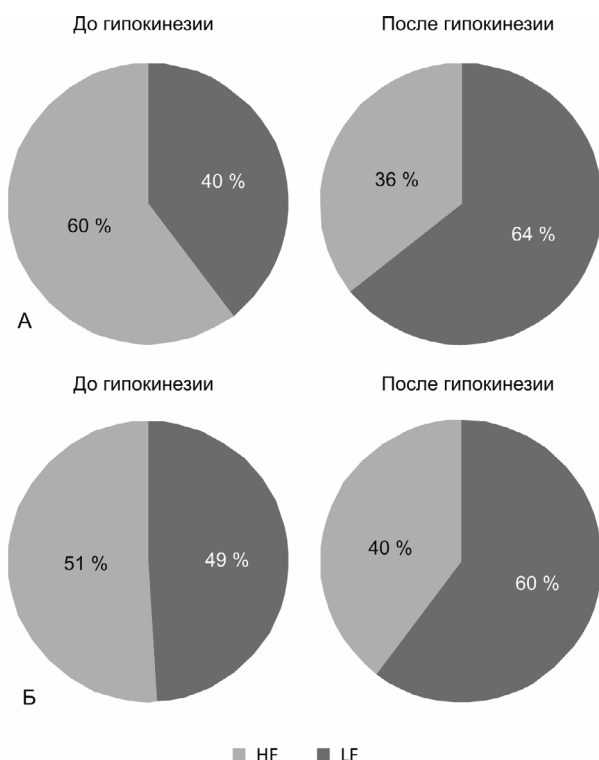


Рис. 4. Спектральные показатели в покое в группах до и после гипокинезии: В – ОГ16; Г – ОГ24

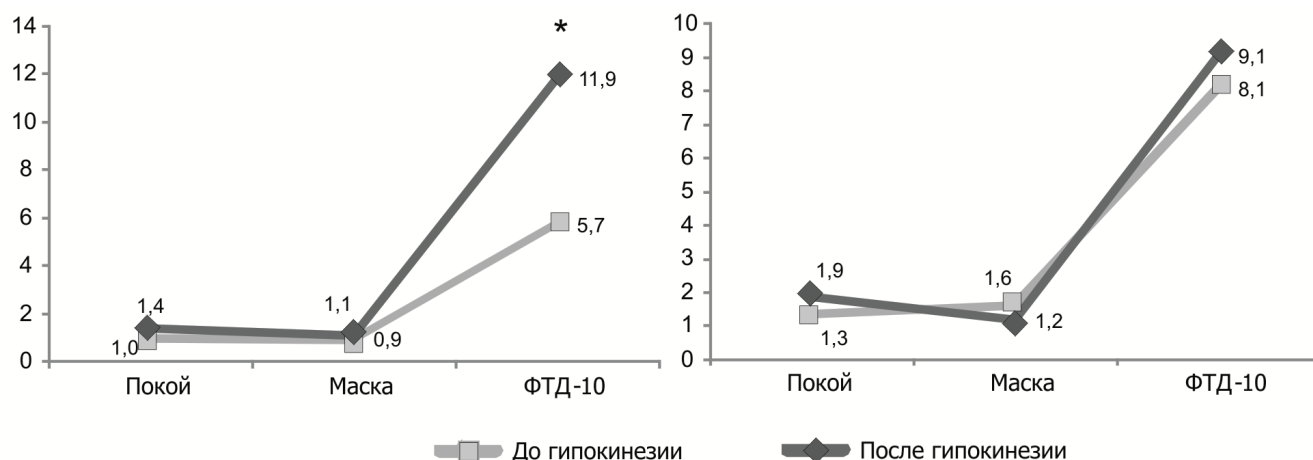


Рис. 5. Индекс вегетативного баланса в группах: В – ОГ16; Г – ОГ24.
Медиана, у.е.: * – $p < 0,01$, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test

Список литературы

1. Баевский Р.М., Лучицкая Е.С., Фунтова И.И., Черникова А.Г. Исследования вегетативной регуляции кровообращения в условиях длительного космического полета // Физиология человека. 2013. Т. 39. № 5. С. 42–46.

Baevsky R.M., Luchitskaya E.S., Funtova I.I., Chernikova A.G. Studies of the autonomic regulation of blood circulation in a long space flight // Fiziologiya cheloveka. 2013. V. 39. № 5. P. 42–46.

2. Baevsky R.M., Baranov V.M., Funtova I.I. et al. Autonomic cardiovascular and respiratory control during prolonged spaceflights aboard the International Space Station // J. of Appl. Physiol. 2007. V. 103. № 1. P. 156–161.

3. Баранов М.В., Катунцев В.П., Шпаков А.В., Баранов В.М. Метод наземного моделирования физиологических эффектов пребывания человека в условиях гипогравитации // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2015. Т. 160. № 9. С. 392–396.

Baranov M.V., Katuntsev V.P., Shpakov A.V., Baranov V.M. The method of ground-based modeling of the physiological effects of a person's stay in hypogravity // Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny. 2015. V. 160. № 9. P. 392–396.

4. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology (Membership of the Task Force listed in the Appendix) // Eur. Heart J. 1996. V. 17. P. 334–381

5. Григорьев А.И., Баевский Р.М. Концепция здоровья и космическая медицина. М., 2007. Grigoriev A.I., Baevsky R.M. The concept of health and space medicine. Moscow, 2007.

Поступила 20.06.2019

STUDIES OF CARDIOVASCULAR SYSTEM AUTONOMIC REGULATION DURING EXTENDED EXPOSURE TO HORIZONTAL AND TILTED BED REST AND HEAD-DOWN TILT BED REST

Rudenko E.A.¹, Cherepov A.B.^{1,2}, Baranov M.V.¹, Lebedeva M.A.^{1,2}, Khlebnikova N.N.²

¹Research Institute for Space Medicine of the Federal Research Clinical Center of the Federal Biomedical Agency of Russia, Moscow

²Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow

Purpose of the investigation was to study effects of horizontal bed rest (HBR) of autonomic regulation of the cardiovascular system and to compare them with the effects of the microgravity model – head-down tilt bed rest (HDT). The paper presents the results of two experimental series. It was shown that the primary response to bed rest is attenuation of parasympathetic and domination of sympathetic CVS regulation. This was particularly evident in the HDT series. Changes of the gravity vector (transition from the vertical to supine position for the night sleep) in the 2-wk HBR had no effect on autonomic CVS regulation. The key factor in the autonomic balance dynamics is initial type of autonomic regulation.

Key words: heart rate variability, spiro-artherio-cardiorhythm recorder, autonomic balance index, head-down tilt bed rest, horizontal bed rest.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2020. V. 54. № 1. P. 31–37.

УДК 502.084; 591.121.3

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ, БИОХИМИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ОБЛУЧЕНИЯ ГОЛОВЫ ОБЕЗЬЯН ЯДРАМИ КРИПТОНА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Штемберг А.С.¹, Клоц И.Н.², Беляева А.Г.¹, Блохина Т.М.³, Яшкина Е.И.³, Осипов А.Н.³, Базян А.С.¹, Кудрин В.С.¹, Перевезенцев А.А.¹, Кошлань Н.А.⁴, Богданова Ю.В.⁴, Кошлань И.В.⁴, Тимошенко Г.Н.⁴, Лапин Б.А.²

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

²Научно-исследовательский институт медицинской приматологии, г. Сочи

³Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

⁴Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна

E-mail: andrei_shtemberg@mail.ru

Тяжелые ионы, входящие в состав галактического космического излучения, представляют основную опасность для здоровья астронавтов при межпланетных полетах за пределами магнитосферы Земли.

Проведена оценка краткосрочных эффектов облучения ядрами тяжелых элементов: 4 самца макак-резусов были подвергнуты облучению головы ядрами криптона ⁷⁸Kr. Сразу же после облучения произошло резкое снижение числа эритроцитов и уровней гемоглобина и гематокрита, которые, однако, постепенно восстановились до исходных значений через 5 мес. Вместе с тем происходило непрерывное увеличение числа тромбоцитов, хотя оно и не достигло достоверных отличий.

Однократное облучение ионами криптона вызывало снижение концентрации серотонина и выраженную тенденцию снижения концентрации предшественника дофамина (ДА) (L-DOPA) в плазме крови обезьян; со временем эти изменения усиливались. В периферической крови достоверно изменилась доля CD34+- и CD16+-лимфоцитов.

В костном мозге содержание бластов, миелобластов, нейтрофильных промиелоцитов и ретикулярных клеток снизилось до минимальных значений, в то время как число лимфоцитов достоверно возросло. Доля γ -H2AX (маркер двуниевых разрывов ДНК) позитивных лимфоцитов крови была статистически достоверно ($p < 0,05$) повышена вплоть до 42 сут после облучения.

Таким образом, даже однократное локальное облучение ядрами тяжелых элементов приводит к серьезным негативным последствиям, что подчеркивает настоятельную необходимость поиска защиты астронавтов от галактического излучения.

Ключевые слова: обезьяны, ионы криптона, форменные элементы крови, моноамины, двуниевые разрывы ДНК.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 38–45.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-38-45

При планировании и подготовке межпланетных космических миссий основным лимитирующим

возможность их осуществления фактором является космическая радиация, которой подвергается корабль при выходе за пределы магнитосферы Земли. При этом основную опасность представляют галактические космические лучи (ГКЛ), в частности, такой их компонент, как тяжелые ионы, обладающие энергиями в широком диапазоне, вплоть до сверхвысоких энергий порядка 10^{20} МэВ. В периоды солнечных вспышек тяжелые ионы входят также в состав солнечных космических лучей (СКЛ). Защититься от таких высокоэнергетических излучений в условиях космического корабля чрезвычайно сложно.

Последние десятилетия ведутся достаточно интенсивные исследования биологических эффектов тяжелых ионов, в частности, их нейробиологических эффектов на разных уровнях организации центральной нервной системы на мелких лабораторных животных [1–3]. Но для того чтобы экстраполировать полученные экспериментальные данные на человека, необходимы эксперименты на более близких к человеку объектах. Оптимальным объектом для таких исследований являются приматы. В нашем предыдущем исследовании были изучены нейробиологические эффекты воздействия на голову обезьян 2 компонентов ГКЛ – протонов высоких энергий и ионов углерода ¹²C [4]. Несомненно, практический интерес представляет также изучение эффектов воздействия более тяжелых ионов с $Z > 20$.

Относительно нейрохимических механизмов нейробиологических эффектов следует отметить хорошо известную роль моноаминергической системы как регулятора и модулятора поведения, в частности, мультифункциональные свойства норадренергической и серотонинергической систем головного мозга. Поэтому данные об изменениях функциональной активности этих систем при воздействии ионизирующих излучений представляются весьма полезными при интерпретации полученных

в экспериментах на животных данных и их экстраполяции на человека, поскольку эти механизмы у человека и животных сходны.

Особый интерес представляют молекулярно-генетические эффекты воздействия галактического излучения, в особенности такие критические для судьбы клетки повреждения ДНК, как двунитевые разрывы (ДР ДНК) [5]. Репарация этих повреждений ДНК происходит медленно и зачастую некорректно [6]. ДР, отрепарированные некорректно или не устраненные в ходе репарации ДНК, приводят к цитогенетическим нарушениям, гибели клеток, инактивации генов супрессоров опухолей или активации онкогенов [7, 8].

Целью данного исследования является изучение комплекса эффектов облучения головы обезьян ионами криптона ^{78}Kr : концентрации моноаминов и их метаболитов в периферической крови, повреждений ДНК лимфоцитов крови, гематологических и биохимических показателей периферической крови и костного мозга.

Методика

В работе были использованы 6 самцов макаков резусов (*Macaca mulatta*), взятых в эксперимент в возрасте 1,5 года. Все работы с обезьянами проводились в соответствии с требованиями Европейской Конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или иных целей, ETS № 123 и директивы № 2010/63/EU, принятой Европейским парламентом 22 сентября 2010 г. Разрешение на проведение работ было получено от Комитета по биоэтике ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицинской приматологии», который создан и работает в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации.

Однократное облучение животных проводили на ускорителе заряженных частиц «Нуклотрон» в Объединенном институте ядерных исследований, г. Дубна. Транквилизованные животные помещались в приматологическое кресло. Пучок ядер криптона направлялся в область головы с затылочной части черепа. Расчет средней линейной передачи энергии (ЛПЭ) ядер криптона проводился с учетом затылочной кости мозга (*cortical bone*) толщиной 0,5 см и плотностью 1,85 г/см³. Средняя плотность мозга принималась равной 1,054 г/см³. С учетом этого энергия ядер криптона на входе в мозг составляла 2,273 ГэВ/н и значение ЛПЭ на входе 251,9 кэВ/мкм. Толщина мозга была равной 5 см, и тогда ЛПЭ на выходе из мозга составляла 267,8 кэВ/мкм. Поток ядер криптона, необходимый для создания в мозге поглощенной дозы 1 Гр, равен $2,402 \cdot 10^6$ ядер/см². Режим работы ускорителя был следующим: частота импульсов

0,1 Гц, растяжка медленного вывода 2,5 с. Пучок в месте облучения обезьян был узким и имел в сечении форму, близкую к эллипсу (большая ось по вертикали) с шириной по X на полувысоте около 0,34 см, а по Y – 0,86 см. Длительность облучения обезьян составила 5–8 мин. В малом объеме мозга, куда попадал пучок, локальная доза была до 3 Гр. Основная часть потока облучения приходилась на гиппокамп.

Кровь обезьян для анализа гематологических и биохимических показателей брали из паховой вены: перед облучением (контроль), затем через 7, 23, 57, 163 дня после облучения. Забор костного мозга проводился через 23 дня после облучения из бугристости плечевой кости иглой Кассирского. Каплю суспензии костного мозга помещали на предметное стекло и делали 2 мазка. Клетки фиксировали по Май-Грюнвальду и окрашивали по Романовскому. Подсчет клеток проводился под микроскопом с использованием иммерсии. Подсчитывалось 500 клеток на препарате.

Гематологический анализ крови обезьян проводили на гематологическом анализаторе фирмы Beckman 5 diff, USA. В некоторых случаях формулу крови уточняли при микроскопировании мазков, окрашенных по Романовскому – Гимза по общепринятой методике.

Биохимический анализ сывороток крови обезьян проводили на биоанализаторе BIOCHEMSA (High Technology Inc., USA) с набором реактивов этой же фирмы.

Определение популяций лимфоцитов в образцах крови обезьян методом проточной цитофлуориметрии проводили на 23-и сутки после облучения. Использовались антитела производства BD biosciences меченные FITC и PE к различным поверхностным антигенам лейкоцитов. К 50 мкл образца добавлялись 3 мкл антител, образцы перемешивались и инкубировались 30 мин при комнатной температуре в темноте. После этого к образцам добавляли 500 мкл лизирующего буфера *versalYse* (#A09777, Beckman Coulter). Образцы перемешивались вортиксированием и инкубировались в темноте 15 мин при комнатной температуре. Далее образцы измерялись на проточном цитофлуориметре CytoFlex (Beckman Coulter).

Выделение лимфоцитов крови проводили путем центрифугирования в градиенте плотности фико-кол-верографин (Ficoll-Paque PLUS, General Electric Healthcare) в соответствии с прилагаемой инструкцией. После выделения лимфоциты отмывали и ресуспендировали в фосфатно-солевом буфере до конечной концентрации 1×10^6 клеток/мл.

Определение доли лимфоцитов с высоким количеством радиационно-индуцированных ДР ДНК проводили при помощи анализа фосфорилированного гистона H2AX (γ -H2AX). Для определения γ -H2AX

использовали мышинные моноклональные антитела, конъюгированные с флуоресцентным красителем Alexa Fluor® 488 (Anti-phospho Histone H2A.X (Ser139), clone JBW301, Alexa Fluor® 488 Conjugate Antibody, 05-636-AF488, Millipore Corp.). Анализ проводили на проточном цитометре BD FACSCalibur (США) со скоростью 200 клеток/с. В каждом образце анализировали не менее 50 тыс. клеток.

Методика высокоаффинной жидкостной хроматографии. Венозную кровь животных отбирали специальным шприцем. 5 мл крови переносили в пластиковую пробирку и центрифугировали при +4 °С 20 мин 2500–3000 об./мин, 150–200 г. Плазму для анализа в объеме 1 мл замораживали в жидком азоте.

L-ДОФА (предшественник ДА), А, НА и ДОФУК (метаболит ДА) определяли через 34 ч и 40 сут после облучения после их концентрации на окиси алюминия. В специальных пробирках (Bioanalytical Systems, Inc., США) к 500 мкл плазмы добавляли 50 мкл 0,1 М HClO_4 , содержащей внутренний стандарт ДОБА (3,4-диоксibenзиламин) – вещество катехоламиновой природы, но не встречающееся в нативной ткани, в концентрации 500 пмоль/мл, 50 мг окиси алюминия. Затем добавляли 1 мл 1,5 М Трис-буфер/ЭДТА (рН 8,6) и перемешивали 5 мин. После осаждения собирали жидкость над алюминиевым осадком, дважды промывали деионизированной водой (18 мг Ом) по 2 мл. Переносили окись алюминия в центрифужную пробирку, добавляли 100 мкл 0,1 М HClO_4 , встряхивали в течение 2 мин. Пробы центрифугировали при +4 °С, 1000 g в течение 10 мин. Надосадочную жидкость отбирали и 20 мкл вводили в хроматограф. Серотонин (5-ОТ), метаболит 5-ОТ – 5-ОИУК и метаболит ДА – ГВК определяли после осаждения в 1,0 М HClO_4 (100 мкл плазмы, добавляли 50 мкл 1,0 М HClO_4 , содержащий 500 пмоль/мл ДОБА – внутренний стандарт, центрифугировали при +4 °С, 10 мин 12 000 об./мин, 15 000–20 000 g). Определение концентрации моноаминов и их метаболитов подробно описано в предыдущих работах [9, 10].

Для выявления статистически значимых различий между показателями в группах облученных и контрольных животных использовали однофакторный дисперсионный анализ. Апостериорные сравнения средних осуществлялись по критерию наименьшей значимой разности – LSD (ANOVA). Статистически значимыми считались различия на уровне достоверности $p < 0,05$. Значения p от 0,05 до 0,1 рассматривались в качестве выраженной тенденции. Конечные уравнивающего типа результаты измерений выражались в виде средних величин $\pm$ стандартная ошибка среднего.

Результаты и обсуждение

Изменения гематологических и биохимических параметров периферической крови

Несмотря на то что облучение ядрами криптона затрагивало только весьма узкую зону головного мозга, были обнаружены значительные изменения в некоторых биохимических показателях периферической крови. Так, через 7 сут после облучения достоверно уменьшились активность щелочной фосфатазы и содержание креатина и холестерина. При этом количество триглицеридов увеличилось почти в 2 раза (табл. 1). С течением времени (163-и сутки после облучения) уровень щелочной фосфатазы резко повысился в 4 раза и почти вдвое превысил исходные значения. Содержание триглицеридов продолжило возрастать. Содержание креатинина и холестерина несколько увеличилось, что сделало различия с исходными значениями недостоверными. Уровень АсТ через 7 сут несколько повысился, но не достиг достоверных отличий. Далее он продолжал повышаться и на 163-и сутки отличия с исходными значениями стали достоверными.

Облучение привело к изменениям субпопуляций лимфоцитов периферической крови (табл. 2). Резко возросло относительное количество CD16+ (NK-лимфоциты) и CD34+ (стволовые клетки), что может быть следствием активных воспалительных процессов.

Облучение также привело к статистически значимым изменениям в содержании эритроцитов, гемоглобина и гематокрита (табл. 3). Но с течением времени все они начали возвращаться к исходным значениям и через 163 сут после облучения достигли близких к исходным значениям величин. Параллельно с ними произошло резкое увеличение числа тромбоцитов, хотя оно и не достигло достоверных значений. Максимум содержания тромбоцитов пришелся на 57-е сутки после облучения, после чего их количество стало снижаться.

Однако наибольшие изменения обнаружились в составе костного мозга (табл. 4), взятом через 23 сут после облучения. Практически полностью исчезли бластные клетки, миелобласты, нейтрофильные промиелоциты и ретикулярные клетки. Вместе с тем содержание лимфоцитов резко возросло.

Сравнивая поток ядер в нашем эксперименте с потоком ядер ГКЛ в предполагаемом космическом полете на Марс и, считая, что средний срок миссии составит 1,8–2,5 года, ожидаемый поток тяжелых ядер ГКЛ составит порядка $2 \cdot 10^7$ ядер/см². Таким образом, поток ядер в нашем эксперименте был меньше того, что ожидается в глубоком космосе, но зато заряд ядра криптона существенно превышал средний заряд тяжелых ядер ГКЛ. Время облучения было на много порядков меньше, чем при полете на Марс.

Таблица 1

Биохимические показатели обезьян до и после облучения

Дата	Параметр	Щелочная фосфатаза	АлТ	АсТ	Мочевина	Креатинин	Билирубин	Глюкоза	Холестерин	Триглицериды	Альбумин	Белок
До облучения	М ± m	587,15 ± 159,83	14,14 ± 12,08	23,13 ± 7,51	5,16 ± 0,70	89,73 ± 15,75	5,33 ± 4,04	4,47 ± 0,24	3,78 ± 0,63	0,36 ± 0,08	42,30 ± 3,35	70,99 ± 5,03
	М ± m	262,53 ± 94,56	39,06 ± 17,19	28,49 ± 8,04	4,18 ± 0,56	65,11 ± 4,92	5,06 ± 2,01	5,49 ± 0,83	2,63 ± 0,29	0,66 ± 0,17	36,75 ± 3,63	62,48 ± 6,25
	р, Аноva, до/после	0,013*	0,055	0,368	0,073	0,025*	0,911	0,058	0,016*	0,020*	0,066	0,078
163-и сут после облучения	М ± m	1033,7 ± 300,76	29,01 ± 12,81	38,32 ± 5,03	4,57 ± 0,75	69,81 ± 11,40	5,75 ± 3,49	3,93 ± 0,80	3,15 ± 0,26	0,918 ± 0,36	39,21 ± 4,38	75,74 ± 8,06
	р, Аноva, до/после	0,04*	0,142	0,015*	0,296	0,086	0,879	0,237	0,114	0,023*	0,304	0,356

Примечание. Здесь и в табл. 2–5: * – различия статистически значимы, р < 0,05.

Таблица 2

Субпопуляционный состав лимфоцитов периферической крови обезьян

Дата	Параметр	% от общего числа лимфоцитов					
		CD16	CD20	HLA-DR	CD34	CD73	CD90
До облучения	М±m	4,75 ± 3,30	27,60 ± 14,47	29,47 ± 10,19	0,473 ± 0,151	0,638 ± 0,23	40,13 ± 8,98
	М±m	13,94 ± 5,41	23,76 ± 8,43	35,66 ± 9,54	1,175 ± 0,135	0,318 ± 0,24	38,22 ± 3,56
После облучения	р, Аноva	0,027*	0,663	0,409	0,00044*	0,101	0,706

Таблица 3

Гематологические показатели обезьян до и после облучения

Дата	Параметр	RBC, × 10 ¹² /л	Hgb, г/л	Hct	Plt, ×10 ⁹ /л
До облучения	М ± m	6,35 ± 0,15	143,50 ± 4,12	0,42 ± 0,02	387,00 ± 120,97
	М ± m	5,31 ± 0,14	122,50 ± 5,26	0,36 ± 0,01	431,50 ± 119,79
	р, Аноva (до/после)	4,8Е-05*	0,0008*	0,001*	0,620
23-и сут после облучения	М ± m	5,63 ± 0,14	130,00 ± 4,06	0,39 ± 0,01	431,25 ± 85,75
	р, Аноva (до/после)	0,0006*	0,005*	0,013*	0,592
57-е сут после облучения	М ± m	5,85 ± 0,132	136,5 ± 3,00	0,404 ± 0,01	479,75 ± 70,16
	р, Аноva (до/после)	0,002*	0,033*	0,075	0,233
163-и сут после облучения	М ± m	6,22 ± 0,17	145,75 ± 3,50	0,43 ± 0,02	411,25 ± 43,83
	р, Аноva (до/после)	0,26	0,44	0,59	0,72

В литературе имеются данные о влиянии облучения на когнитивные функции грызунов, а также на их нейрохимические и молекулярные механизмы. Как правило, наблюдались существенные нарушения гиппокампозависимых форм поведения и обеспечивающих их нейрохимических и молекулярных механизмов [11–13]. Было показано [14], что, вопреки ожиданиям, ни острое, ни фракционированное облучение не снижало числа взрослых нейрональных стволовых клеток. Облучение ^{56}Fe приводило лишь к преходящему снижению числа незрелых нейронов или делящихся предшественников. Следовательно, радиационно-индуцированный дефицит в нейрогенезе, происходящем в гиппокампе, может быть временным. Аналогичное заключение было сделано в другой работе [15], где также было установлено, что, несмотря на устойчивое повышение индекса геномной нестабильности при облучении животных ^{56}Fe ядрами, нейрогенез в гиппокампе был преходящим, указывая на регенеративную способность субгранулярной зоны гиппокампа.

Несмотря на то что облучению подвергался небольшой участок мозга животного и только, крайне незначительная часть костного мозга, произошли выраженные изменения в периферической крови и биохимических показателях и в составе костного мозга. Хотя часть этих показателей вернулась к исходным значениям через 5 мес после облучения, очевидно, что при межпланетном перелете, когда ГКЛ окажут воздействие на весь организм, подобные изменения окажутся более выраженными и будут представлять существенную угрозу для космонавтов. Возможно, эти результаты в какой-то мере аналогичны описанным в работе [16], где изменения в системах гемопозеза и иммунитета произошли за счет «эффекта свидетеля» (biological bystander effect) при повреждении стромальных клеток, представляющих собой микросреду костного мозга человека, и в связи с этим нарушилась их способность поддерживать нормальный гемопозез.

Концентрация моноаминов и их метаболитов в периферической крови

Результаты исследования концентрации моноаминов и их метаболитов приведены в табл. 5. Показано, что однократное облучение ионами криптона влияет на концентрацию исследованных веществ в плазме периферической крови обезьян. Через 34 ч после облучения концентрации предшественника дофамина L-DOPA и серотонина (5-HT) снизились концентрация L-DOPA – до 72 % (степень достоверности, $p = 0,064$ – выраженная тенденция), а концентрация 5-HT – до 31 % (степень достоверности, $p = 0,023$) относительно показателей контрольной группы.

На 40-е сутки после однократного облучения ионами криптона концентрация исследуемых веществ

также снизилась: концентрация предшественника дофамина, L-DOPA – до 52 %, а концентрация метаболита DA (DOPAC) – до 39 % относительно показателей контрольной группы. Концентрация NA снизилась до 65 % (выраженная тенденция, $p = 0,065$).

Концентрации этих веществ на 40-е сутки снижались по отношению к обследованию через 34 ч после облучения: концентрация DA – до 73 %, DOPAC – до 27 %, а концентрация NA до 37% (выраженная тенденция, $p = 0,065$).

Таким образом, однократное облучение ионами криптона через 34 ч вызывает снижение концентрации серотонина и выраженную тенденцию снижения концентрации предшественника DA (L-DOPA) в плазме крови обезьян. Через 40 сут нарушения в обмене моноаминов, вызванные облучением, усиливаются. Подобный эффект мы ранее обнаружили в структурах головного мозга крыс после облучения ускоренными протонами (170 МэВ; 0,5 кэВ/мкм) и ионами углерода (^{12}C ; 500 МэВ/мкм; 10,5 кэВ/мкм), доза 1 Гр, через 24 ч, 30 и 90 сут [17]. Но здесь есть принципиальные различия. Во-первых, были использованы разные виды животных – крысы и обезьяны. Во-вторых, у крыс облучали всю голову, а у обезьян определенный участок мозга. В-третьих, у крыс выделяли ключевые структуры мозга и исследовали концентрацию моноаминов и их метаболитов в этих структурах, а у обезьян исследовали концентрацию веществ в плазме крови. При этом известно, что моноамины гематоэнцефалический барьер не проходят, но проходят их метаболиты, так что о нарушениях в обмене моноаминов в мозге мы могли судить только по косвенным показателям. Несмотря на все эти различия, были выявлены значимые изменения и эффекты оказались сходными.

В цитированной выше работе мы объясняли процесс самоусиления нарушений посредством циркулирующих нейронных сетей, выходящих из черной субстанции и формирующих таламокортикальные и таламостриатные циркулирующие сети. Вторая циркулирующая система – это мезолимбическая, мезокортикальная моноаминергическая система, которая формирует замкнутые циклы эмоционально-мотивационных состояний [18]. Оба эти цикла выходят из черной субстанции и возвращаются в нее. Нарушение хотя бы одного элемента в этих циклах приведет к тому, что нарушения начнут нарастать и усиливаться. Затем можно предположить, что нарушенная в результате облучения реакция циркулирующих систем мозга выводится на периферию, в частности в кровь, через гипофиз.

Повреждения ДНК в лимфоцитах крови

В ответ на образование ДР ДНК происходит фосфорилирование тысяч копий корового гистона H2AX, что свидетельствует о распознавании ДР [19]. Анализ фосфорилированного гистона $\gamma\text{-H2AX}$

Таблица 4

Изменения в составе костного мозга обезьян

Дата	№ обезьян	Показатели, %										
		Недифференцирующие клетки	Бласты	Миело-бласты	Нейтрофильные промиелоциты	Лимфоциты	Моноциты	Плазмоклеточные	Эритро-бласты	Пронормо-бласты	Ретикулярные клетки	Мегакариоциты
До облучения	1	0,8	0	0,8	2	8	2	0,4	0,4	1,4	0,6	0
	2	0,2	0,2	0,2	1,4	8	1,6	0,6	0,4	2,0	0,6	0,2
	3	0	0,4	0,6	0,8	8	1	0,8	0,8	1,6	1,6	0,2
	4	0	0,4	0,6	0,4	6	1	0,4	0,4	4,0	0,6	0,6
На 23-и сутки после облучения	1	0	0	0	0	12,4	2,4	0	0,4	2	0,4	0
	2	0	0	0	0	12,4	2	0	0	0,4	0	0
	3	0	0	0	0	10,6	0,8	0,6	1	1,4	0	0
	4	0	0	0,2	0,2	16	0,8	0,4	0	0,8	0	0
	p, Anova (до/после)	0,235	0,04*	0,01*	0,02*	0,005*	0,842	0,143	0,580	0,163	0,03*	0,094

Таблица 5

Концентрация моноаминов и их метаболитов в плазме крови контрольных и облученных крионом обезьян через 34 ч и 40 сут после облучения (пикомоль/мл плазмы)

Группы	L-DOPA	NA	A	DA	DOPAC	HVA	3MT	5-HIAA	5-HT
Контроль	4,27 ± 0,41	2,26 ± 0,21	2,2 5 ± 0,42	0,22 ± 0,07	16,11 ± 2,06	8,36 ± 2,11	1034,54 ± 145,05	12,90 ± 3,79	14,02 ± 1,91
34 ч	3,08 ± 0,21	4,00 ± 0,95	1,46 ± 0,24	0,61 ± 0,21	23,40 ± 3,41	8,15 ± 2,63	1092,80 ± 74,76	11,72 ± 3,87	4,34 ± 2,00
p 2 к 1	0,064*	0,173	0,208	0,184	0,184	0,773	0,768	0,856	0,023*
40 сут	2,24 ± 0,17	1,46 ± 0,22	1,69 ± 0,47	0,32 ± 0,10	6,32 ± 0,78	14,39 ± 2,53	1604,28 ± 217,98	22,72 ± 3,65	32,19 ± 13,97
p 3 к 1	0,007*	0,065*	0,473	0,473	0,009*	0,163	0,109	0,157	0,307
p 3 к 2	0,034*	0,065*	0,712	0,340	0,006*	0,189	0,103	0,124	0,138

Примечание. Р – различия статистически значимы; 1 – контроль; 2 – через 34 ч после облучения; 3 – через 40 сут после облучения.

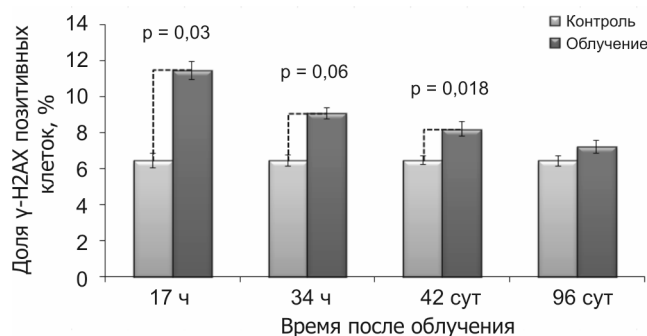


Рисунок. Изменения доли лимфоцитов периферической крови обезьян с высоким количеством двунитевых разрывов ДНК (γ -H2AX позитивные клетки) в различные сроки после облучения

позволяет оценить количественные изменения ДР ДНК. В нашей работе было показано, что через 17 ч после облучения отмечалось почти 2-кратное увеличение доли γ -H2AX позитивных лимфоцитов периферической крови (рисунок). К 34 ч происходило снижение доли γ -H2AX позитивных клеток, однако их количество продолжало оставаться статистически значимым по отношению к контрольным значениям ($\sim 1,5$ раза, $p = 0,006$). Обращает на себя внимание тот факт, что даже через 42 сут после облучения доля γ -H2AX позитивных клеток оставалась повышенной (см. рис.). И лишь к 96-м суткам этот показатель возвращался к контрольным значениям. Нужно понимать, что при локальном облучении головного мозга воздействию подвергается небольшая доля лимфоцитов периферической крови. Поэтому с определенной долей вероятности можно считать, что наблюдаемые нами эффекты являются косвенными, возникшими за счет «эффекта свидетеля» [20]. Наибольший интерес представляет феномен повышенного количества клеток с поврежденной ДНК через 42 сут после облучения. То есть поврежденные лимфоциты периферической крови не элиминируются и продолжают циркулировать в кровеносном русле в течение длительного времени после облучения. Ранее было показано, что повышенный выход лимфоцитов с повреждениями ДНК обнаруживается у астронавтов спустя несколько месяцев после полета [21, 22].

Выводы

1. Облучение головы обезьян ионами криптона ^{78}Kr вызывает выраженные изменения в соотношении форменных элементов крови, ее биохимических показателей и клеточного состава костного мозга, которые восстанавливаются со временем.
2. Облучение головы ионами криптона вызывает снижение концентрации серотонина и

выраженную тенденцию снижения концентрации предшественника ДА (L-DOPA) в плазме крови обезьян; нарушения в обмене моноаминов, вызванные облучением, усиливаются со временем.

3. Выявлено статистически значимое увеличение ДР ДНК в лимфоцитах обезьян после облучения, которое, предположительно, является косвенным эффектом и может быть объяснено «эффектом свидетеля».

Работа выполнена в рамках базовой темы РАН № 65.2 и при поддержке грантов РФФИ № 17-29-01018, 17-29-01002 и 17-29-01005 офи_м.

Список литературы

1. Acharya M.M., Patel N.H., Craver B.M. et al. Consequences of low dose ionizing radiation exposure on the hippocampal microenvironment // PloS One. 2015. V. 10. № 6. e0128316.
2. Britten R.A., Davis L.K., Johnson A.M. et al. Low (20 cGy) doses of 1 GeV/u ^{56}Fe -particle radiation lead to a persistent reduction in the spatial learning ability of rats // Radiat. Res. 2012. V. 177. P. 146–151.
3. Rabin B.M., Joseph J.A., Shukitt-Hale B. A longitudinal study of operant responding in rats irradiated when 2 months old // Radiat. Res. 2005. V. 164 (4). Pt. 2. P. 552–555.
4. Belyaeva A.G., Shtemberg A.S., Nosovsky A.M. et al. The effects of high-energy protons and carbon ions (^{12}C) on the cognitive function and the content of monoamines and their metabolites in peripheral blood in monkeys // Neurochem. J. 2017. V. 11. № 2. P. 168–175.
5. Tsvetkova A., Ozerov I.V., Pustovalova M. et al. γ -H2AX, 53BP1 and Rad51 protein foci changes in mesenchymal stem cells during prolonged X-ray irradiation // Oncotarget. 2017. V. 8. № 38. P. 64317–64329. URL: <https://doi.org/10.18632/oncotarget.19203>
6. Pustovalova M., Astrelina T.A., Grekhova A. et al. Residual γ -H2AX foci induced by low dose X-ray radiation in bone marrow mesenchymal stem cells do not cause accelerated senescence in the progeny of irradiated cells // Aging (Albany NY). 2017. V. 9. № 11. P. 2397–2410. DOI: 10.18632/aging.101327.
7. Osipov A.N., Grekhova A., Pustovalova M. et al. Activation of homologous recombination DNA repair in human skin fibroblasts continuously exposed to X-ray radiation // Oncotarget. 2015. V. 6. № 29. P. 26876–26885.
8. Mladenov E., Magin S., Soni A., Iliakis G. DNA double-strand-break repair in higher eukaryotes and its role in genomic instability and cancer: Cell cycle and proliferation-dependent regulation // Semin. Cancer Biol. 2016. V. 37–38. P. 51–64. DOI: 10.1016/j.semcancer.2016.03.003.
9. Matveeva M.I., Shtemberg A.S., Timoshenko G.N. et al. The effects of irradiation by ^{12}C carbon ions on monoamine exchange in several rat brain structures // Neurochem. J. 2013. V. 7. № 4. P. 303–307.

10. Belokopytova K.V., Belov O.V., Kudrin V.S. et al. The distribution of monoamines and their metabolites in the brain structures of rats at later periods after exposure to ^{12}C ions // Ibid. 2015. V. 9. № 3. P. 214–220.

11. Britten R.A., Jewell J.S., Miller V.D. et al. Impaired spatial memory performance in adult Wistar rats exposed to low (5–20 cGy) doses of 1 GeV/n (56)Fe particles // Radiat. Res. 2016. V. 185. № 3. P. 332–337. DOI: 10.1667/RR14120.1.

12. 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. V. 33. № 8. P. 1330–1333.

13. Rabin B.M., Joseph J.A., Shukitt-Hale B. A longitudinal study of operant responding in rats irradiated when 2 months old // Radiat. Res. 2005. V. 164. № 4. Pt 2. P. 552–555.

14. Rivera P.D., Shih H.Y., Leblanc J.A. et al. Acute and fractionated exposure to high-LET (56)Fe HZE-particle radiation both result in similar long-term deficits in adult hippocampal neurogenesis // Radiat. Res. 2013. Dec. V. 180. № 6. P. 658–667. DOI: 10.1667/RR13480.1.

15. DeCarolis N.A., Rivera P.D., Ahn F. et al. ^{56}Fe particle exposure results in a long-lasting increase in a cellular index of genomic instability and transiently suppresses adult hippocampal neurogenesis in vivo // Life Sci. Space Res. (Amst). 2014. Jul. V. 1. № 2. P. 70–79.

16. Almeida-Porada G., Rodman C., Kuhlman B. et al. exposure of the bone marrow microenvironment to simulated solar and galactic cosmic radiation induces biological bystander effects on human hematopoiesis // Stem Cells Dev. 2018. Apr 26. DOI: 10.1089/scd.2018.0005.

17. Belov O., Belokopytova K., Kudrin V. et al. Neurochemical insights into the radiation protection of astronauts: distinction between low- and moderate-LET radiation components // Phys. Med. 2019. Jan. V. 57. P. 7–16. DOI: 10.1016/j.ejmp.2018.12.003.

18. Базян А.С. Соматотопия структур мозга, реализация целенаправленного эмоционально мотивированного поведения и энграмма памяти // Усп. физиол. наук. 2019. Т. 50. № 1. С. 17–44. DOI: 10.1134/S0301179819010041.

Bazyan A.S. Brain structures somatopropia, task oriented emotional motivated behavior realization and memory engram // Uspekhi fiziologicheskikh nauk. 2019. V. 50. № 1. P. 17–44. DOI: 10.1134/S0301179819010041.

19. Ulyanenko S., Pustovalova M., Koryakin S. et al. Formation of $\gamma\text{-H2AX}$ and pATM foci in human mesenchymal stem cells exposed to low dose-rate gamma-radiation // Int. J. of Molecular Sci. 2019. V. 20. № 11. pii: E2645. DOI: 10.3390/ijms20112645.

20. Burdak-Rothkamm S., Rothkamm K. Radiation-induced bystander and systemic effects serve as a unifying model system for genotoxic stress responses // Mutat. Res. 2018. V. 778. P. 13–22. DOI: 10.1016/j.mrrev.2018.08.001.

21. George K., Durante M., Willingham V., Cucinotta F.A. Chromosome aberrations of clonal origin are present in astronauts' blood lymphocytes // Cytogenet. Genome Res. 2004. V. 104 (1–4). P. 245–251.

22. Beaton-Green L.A., Lachapelle S., Straube U., Wilkins R.C. Evolution of the health Canada astronaut biodosimetry program with a view toward international harmonization // Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen. 2015. V. 793. P. 101–106. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2015.07.013.

Поступила 03.07.2019

HEMATOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND MOLECULAR EFFECTS OF PRIMATE'S HEAD IRRADIATION WITH HIGH-ENERGY KRYPTON NUCLEI

Shtemberg A.S.¹, Klots I.N.², Belyaeva A.G.¹, Blokhina T.M.³, Yashkina E.I.³, Osipov A.N.³, Bazyan A.S.¹, Kudrin V.S.¹, Perevezentsev A.A.¹, Koshlan N.A.⁴, Bogdanova Yu.V.⁴, Koshlan I.V.⁴, Timoshenko G.N.⁴, Lapin B.A.²

¹Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow

²Institute of Medical Primatology, Sochi

³Burnazyan Federal Medical Biophysical Centre, Moscow

⁴Joint Institute of Nuclear Research, Dubna

Heavy ions of the galactic cosmic radiation pose the main threat to the health of astronauts on missions beyond Earth's magnetosphere.

To evaluate immediate effects of heavy ion nuclei, heads of four Macaca mulatta males were irradiated with ^{78}Kr ions. Immediately after the exposure erythrocyte number dropped sharply and so did hemoglobin and PCV; however, they recovered gradually and reached baseline values in 5 months. In parallel, platelets showed a continuous and yet insignificant increase in their number.

Single irradiation with Kr ions reduced serotonin concentration and induced a strong downward trend in dopamine precursor L-DOPA in blood plasma; with time these changes amplified. The fraction of CD34+ and CD16+B lymphocytes in peripheral blood altered significantly.

Marrow levels of blasts, myeloblasts, neutrophil promyelocytes and reticular cells dropped to minimums, whereas lymphocyte number grew significantly. The share of $\gamma\text{-H2AX}$ (marker of double-strand DNA break) of the positive blood lymphocytes remained reliably increased ($p < 0.05$) 42 days post exposure.

Hence, even single local irradiation with nuclei of heavy elements produces serious negative consequences which points to the insistent need for astronauts' protection against galactic radiation.

Key words: primates, krypton ions, blood corpuscles, monoamines, double-strand DNA break.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2020. V. 54. № 1. P. 38–45.

УДК 612.4; 613.963

АВИАМЕДИЦИНСКИЕ РИСКИ, АССОЦИИРОВАННЫЕ С АТЕРОГЕННЫМИ ДИСЛИПИДЕМИЯМИ И АТЕРОСКЛЕРОЗОМ

Праскурничий Е.А.¹, Иванов И.В.^{2, 3}

¹Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва

²Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

³Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

E-mail: praskurnichey@mail.ru

Проведена оценка значимости авиамедицинских рисков, ассоциированных с атерогенными дислипидемиями и атеросклерозом, рассмотрены стратегии управления факторами риска, связанными с атерогенными дислипидемиями и атеросклерозом, для безопасности полетов. Ретроактивная (реагирующая) стратегия направлена на предотвращение событий. Проактивная стратегия ставит во главу угла активное выявление факторов риска для безопасности полетов и уменьшение их значимости благодаря активным профилактическим мероприятиям. Прогнозная стратегия основана на анализе информации о показателях деятельности системы и их динамики с целью определения круга наиболее вероятных проблем в будущем. Изложенные принципиальные подходы к отбору лечебных вмешательств, приемлемых к использованию среди лиц авиационного персонала, рекомендуется использовать в авиамедицинской практике для повышения безопасности полетов.

Ключевые слова: атерогенные дислипидемии, атеросклероз, сердечно-сосудистый риск, летный состав, авиамедицинские риски, безопасность полетов.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 46–51.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-46-51

Заболевания, патогенетически ассоциированные с атеросклерозом, в современных условиях остаются ведущей причиной заболеваемости и смертности в Российской Федерации как в целом в популяции, так и среди лиц трудоспособного возраста [1]. Кардиоваскулярные заболевания среди авиационного персонала создают очевидную угрозу безопасности полетов [2], и их диагностика у авиационного специалиста, как правило, означает признание негодности к последующей летной работе. Однако весь процесс управления авиамедицинскими рисками, ассоциированными с атерогенными дислипидемиями и атеросклерозом, не должен исчерпываться экспертными решениями по отстранению от профессиональной

деятельности. В современных условиях повышается актуальность задач в сфере обеспечения летного долголетия, направленных на выявление факторов риска заболеваний, патогенетически связанных с атеросклерозом, их эффективную коррекцию, а также модификацию образа жизни летного состава с учетом динамики проатерогенных маркеров.

Цель исследования состояла в анализе путей снижения авиамедицинских рисков, ассоциированных с атерогенными дислипидемиями и атеросклерозом у авиационных специалистов.

Оценка значимости авиамедицинских рисков, ассоциированных с атерогенными дислипидемиями и атеросклерозом

Согласно Руководству ИКАО по управлению безопасностью полетов, риск для безопасности полетов того или иного фактора может быть охарактеризован как неприемлемый, приемлемый при условии реализации мер по его снижению и приемлемый на момент его изучения [3]. В нашей статье, посвященной авиамедицинским аспектам концепции управления факторами риска для безопасности полетов [2], подробно проанализированы процесс выделения медицинских рисков для безопасности полетов, оценка их значимости с точки зрения серьезности и вероятности развития событий, влияющих на данную характеристику авиационной системы, а также принципы построения матрицы оценки факторов риска для безопасности полетов. При этом важно подчеркнуть, что большинство клинически манифестных нозологических форм, патогенетически связанных с атеросклерозом, относятся к категории жизнеугрожающих (катастрофических) факторов риска для безопасности полетов. В частности, в этой группе рассматриваются:

– инфаркт миокарда и острый коронарный синдром, диагностированный по любым диагностическим критериям;

- стабильная стенокардия любого функционального класса по критериям Канадского общества кардиологов (1976);
- верифицированная безболевая ишемия миокарда;
- ишемический тип реакции при проведении нагрузочного тестирования;
- верифицированные нарушения коронарного кровотока (гемодинамически значимые стенозы коронарных артерий) по данным визуализирующих методов исследования.

Даже при стабильном течении постинфарктного периода, без рецидивирования и прогрессирования клинической симптоматики риск для безопасности полетов оценивается как неприемлемый после первичного и повторного инфаркта миокарда. Аналогичный подход реализуется и по отношению к лицам, перенесшим другие варианты острого коронарного синдрома.

Первичная диагностика ишемии миокарда по клиническим или инструментальным признакам, так же как и повторная ее верификация, означает неприемлемый риск для безопасности полетов. К этой же категории относится риск, определяемый при обнаружении гемодинамически значимого стеноза коронарной артерии с признаками ишемии миокарда, даже при условии его устранения с помощью операции реваскуляризации миокарда.

Выявление исключительно факторов риска развития указанных коронарных событий определяет необходимость реализации соответствующих профилактических мероприятий, тогда как отсутствие факторов риска – целесообразность следования общепопуляционной стратегии профилактики указанных состояний.

В качестве потенциально опасных факторов риска для безопасности полетов могут рассматриваться любые структурно-морфологические проявления атеросклеротического процесса коронарных или других артерий, которые не сопровождаются:

- гемодинамически значимым стенозированием (т.е. имеет место только бессимптомный атеросклероз артерий);
- клиническими или инструментальными признаками ишемии миокарда;
- индукцией в условиях физической нагрузки (нагрузочное тестирование, периоды физической активности при проведении мониторинга ЭКГ) желудочковой эктопической активности.

Первое обнаружение признаков коронарного атеросклероза крупной артерии, гемодинамически незначимого и без индукции ишемии миокарда, соответствует манифестации потенциально опасного события, однако лишь в том случае, если речь идет о поражении только одной коронарной артерии и процесс не распространяется на ствол левой коронарной артерии или проксимальную левую

переднюю нисходящую артерию при левом типе коронарного кровотока. При обнаружении атеросклеротических бляшек двух последних локализаций риск оценивается как более серьезный. Если при проведении повторных коронароангиографий отсутствуют признаки регресса атеросклеротической бляшки либо выявляется поражение других сосудов, то уровень риска для безопасности полетов трактуется как неприемлемый.

*Стратегии управления рисками,
связанными с атерогенными
дислипидемиями и атеросклерозом,
для безопасности полетов*

Нами уже подробно рассматривалась имплементация подходов к управлению факторами риска для безопасности полетов в авиамедицинской практике [2]. Ретроактивная (реагирующая) стратегия направлена на предотвращение событий, которые уже имели место, и реализуется главным образом в отношении тех факторов, прогнозирование эффекта которых на данном этапе по каким-либо причинам затруднено. Проактивная стратегия ставит во главу угла активное выявление факторов риска для безопасности полетов и уменьшение их значимости благодаря активным профилактическим мероприятиям. Прогнозная стратегия в сфере управления безопасностью полетов основана на анализе информации о показателях деятельности системы и осуществляемой в штатных условиях и направлена на выявление потенциальных проблем в будущем [3]. Это наиболее эффективный подход, который требует системного планирования медицинской деятельности в авиационной организации.

В отношении атерогенеза – т.е. процесса, который имеет свои истоки уже в юношеском возрасте, – реализация проактивного подхода фактически означает применение стратегии его первичной профилактики, необходимость широкого внедрения которой согласуется с мнением большинства российских и европейских экспертов [1, 4].

Принципы здорового образа жизни (рационального и сбалансированного питания, физической активности, отказа от курения, потребления спиртных напитков и т.п.) следует утверждать как можно раньше, что обосновано с патогенетической точки зрения и получило убедительные доказательства при анализе популяционных данных [4]. В рамках реализации проактивной стратегии важно избежать недооценки роли липидных и нелипидных факторов риска заболеваний, патогенетически связанных с атеросклерозом.

Особого обсуждения заслуживает тактика при уже выявленном поражении коронарных артерий атеросклеротическим процессом. В целом рекомендуемая практика ИКАО, которой в основном придерживаются и врачебно-летные эксперты

комиссии в России, заключается в следующем. При стенозе любой крупной коронарной артерии более 30 % рекомендуется ограничить допуск к полетам, разрешая пилоту работу только в составе многочленного экипажа, а степень стеноза более 50 % является основанием для отказа к допуску к полетам. Если атеросклерозом поражены главный ствол левой коронарной артерии или ее ветви, пилотам со степенью стеноза более 30 % следует отказывать в выдаче медицинского заключения.

Рекомендации подобного рода основаны на результатах целого ряда исследований. Например, в одном из них из 347 пациентов, госпитализированных в связи с «болью в груди» и нормальным (по данным ангиографической оценки) состоянием коронарных артерий, лишь 2 (т.е. 0,6 %) умерли от ишемической болезни сердца в течение последующих 10 лет. У пациентов со степенью стеноза коронарной артерии менее 30 % показатель смертности в течение 10 лет составил 2 %, при стенозе – более 30 %, но менее 50 % показатель 10-летней летальности достигал 16 %. Исследование по хирургии коронарной артерии (CASS) продемонстрировало 96%-ный показатель выживания в течение 7 лет для 3136 пациентов с нормальным состоянием коронарных артерий или артериями с минимальным стенозом. Проспективное исследование 1487 летчиков ВВС США показало отсутствие коронарных событий в течение 5-летнего периода наблюдения в группе с нормальным состоянием коронарных артерий и в группе с их атеросклеротическим поражением. В сроки наблюдения от 5 до 10 лет частота коронарных событий составила уже 0,1 % в год для первой группы и 0,56 % в год – для второй [5]. Вместе с тем следует принимать во внимание и то обстоятельство, что большая часть случаев инфаркта миокарда развивается при гемодинамически незначимых стенозах инфарктсвязанных коронарных артерий, т.е. при наличии небольших, но «мягких» легкокоранимых атеросклеротических бляшек с тонкими фиброзными покрышками [6]. В этом свете построение сердечно-сосудистого прогноза исключительно на основании оценки лишь степени выявленного стеноза коронарной артерии, по меньшей мере, некорректно, и крайне актуальна эффективная профилактика развития неблагоприятных событий, основанная на результатах оценки уровня сердечно-сосудистого риска.

Конкретизируя изложенные замечания, следует обратить внимание на следующее обстоятельство: несмотря на то, что случаи гемодинамически незначимых стенозов коронарных артерий у лиц авиационного персонала и относятся к категории промежуточного риска (попадают в допустимую («желтую») зону факторов риска для безопасности полетов), грань, отделяющая их от категории неприемлемого риска, весьма размыта. Удержать параметры

безопасности полетов в рамках промежуточного риска можно лишь при условии активных мероприятий, направленных на контроль других факторов риска, прежде всего артериальной гипертензии, абдоминального ожирения, инсулинорезистентности, а также благодаря применению средств, стабилизирующих атеросклеротические бляшки, в частности, статинов. В идеале, начиная реализацию изложенной стратегии «стабилизации» выявленных атеросклеротических бляшек, следует быть уверенным, что выявленные бляшки не относятся к категории нестабильных. Подобную уверенность могут дать результаты еще весьма обременительных в методическом и организационном отношении методов, таких, как внутрисосудистое ультразвуковое исследование коронарных артерий, их оптико-когерентная томография и некоторых других.

Пациенты, перенесшие коронарное шунтирование, а также пациенты с сахарным диабетом, перенесшие ангиопластику коронарных артерий, не должны получать допуск к летной работе из-за высокой вероятности развития сердечно-сосудистых событий. Следует также учитывать, что при многососудистом поражении ангиопластика менее эффективна в плане устранения симптомов ишемической болезни сердца (ИБС), чем хирургическое вмешательство. В некоторых странах, в том числе и в России (по решению центральной врачебно-летной экспертной комиссии гражданской авиации), отдельные пилоты допускаются к работе после стентирования одной или более коронарных артерий при условии отсутствия признаков индуцируемой ишемии миокарда, несмотря на то что вероятность развития сердечно-сосудистого события может весьма значительно превышать 1 % в год. С другой стороны, наличие стенокардии, даже при медикаментозном купировании симптомов и подобранной оптимальной терапии, служит основанием для отказа в выдаче медицинских заключений всех классов. Данная мера у этой категории лиц является, по сути, единственным инструментом, пусть и радикальным, снижения риска для безопасности полетов, ассоциированного с ИБС.

Принципиальные подходы к отбору лечебных вмешательств, приемлемых к использованию среди авиационного персонала

Прежде чем ставить вопрос о назначении лекарственных препаратов в подобных ситуациях, следует, прежде всего, оценить результативность проводимых мероприятий по ограничению эффектов влияния факторов опасности на лиц авиационного персонала. Например, запрещение продления норм полетного времени – это та мера, которая может и должна применяться в указанных случаях. Большое значение также имеют реалистичная оценка пилотом и диспетчером управления воздушным

движением (УВД) своего состояния и отказ от неоправданной активности, связанной с решением бытовых и личных вопросов, после трудного полета или тяжелого дежурства. Важным элементом немедикаментозных кардиореабилитационных программ служат также занятия физической культурой и спортом. Кроме того, данные меры выступают в качестве ключевых направлений в борьбе с гиподинамией и гипокинезией, чрезвычайно распространенных среди летного состава и диспетчеров УВД в связи с усугубляющейся тенденцией преобладания в их деятельности умственного труда.

Аэробные умеренной интенсивности физические нагрузки в течение 150 мин (2 ч 30 мин) в неделю снижают риск преждевременной смерти, а также риск развития ИБС, инсульта, артериальной гипертензии, сахарного диабета 2 типа и депрессии, а физическая активность от 150 до 300 мин (5 ч) в неделю приносит дополнительную пользу для здоровья: снижается риск появления избыточной массы тела, а также рака толстой кишки и рака молочной железы [1]. В качестве других составляющих немедикаментозной кардиореабилитационной программы, доказавших свою высокую эффективность в отношении снижения риска сердечно-сосудистой заболеваемости и смертности, выступают снижение избыточной массы тела и отказ от курения [1].

Решение вопроса о назначении лекарственных средств лицам авиационного персонала в связи с выявленной у них какой-либо кардиоваскулярной патологией является признанием того обстоятельства, что риск для безопасности полетов, обусловленный фармакологическим агентом, в краткосрочной перспективе может оказаться более значимым, чем риск заболевания, послужившего показанием для назначения данного вида медикаментозного лечения. В Руководстве по авиационной медицине ИКАО (2012) указывается, что, «хотя некоторые полномочные органы по выдаче свидетельств требуют измерять уровень холестерина, это не является требованием ИКАО» [5].

Вместе с тем с учетом современных международных и национальных рекомендаций по лечению атерогенных дислипидемий лицам, имеющим нарушения липидного обмена, рекомендовано проведение лечебных мероприятий по достижению целевых уровней параметров липидного спектра, прежде всего холестерина ЛПНП [7, 8]. При неэффективности немедикаментозных мер в качестве гиполипидемических препаратов принципиально возможно использование следующих фармакологических препаратов: ингибиторы 3-гидрокси-3-метилглутарил-КоА-редуктазы (статины); селективные ингибиторы абсорбции холестерина (эзетимиб); фибраты; омега 3-полиненасыщенные жирные кислоты; ингибиторы пропротеиновой конвертазы субтилизин-кексинового типа 9 и др.

Препаратами первой линии у пациентов с гиперхолестеринемией или комбинированной гиперлипидемией являются статины. Препараты данного класса не только эффективны в отношении снижения уровня гиперхолестеринемии, но и, что еще более существенно, служат наиболее эффективным среди остальных гиполипидемических средств элементом первичной и вторичной профилактики ишемической болезни сердца. Эзетимиб назначается при условии непереносимости статинов или в комбинации с ними, в качестве второй линии терапии, если целевой уровень липидов не достигнут с помощью максимально переносимой дозы статинов [7, 8]. Фибраты и никотиновая кислота используются главным образом для снижения уровня триглицеридов и повышения уровня холестерина ЛПВП, что не рассматривается в качестве основной цели современной гиполипидемической терапии. Даже при гипертриглицеридемии у пациентов высокого риска статины являются препаратами выбора для снижения риска сердечно-сосудистых заболеваний. Только при чрезвычайно высокой гипертриглицеридемии – 5,6 ммоль/л и более – первоочередной задачей становится предупреждение развития панкреатита с помощью фенофибратов, а затем решается задача достижения целевого уровня холестерина липопротеидов низкой плотности (ЛПНП) [7].

С учетом того, что большинство лиц авиационного персонала, имеющих действующее медицинское заключение, относятся к категории низкого и умеренного риска, диетические мероприятия и регулярные физические нагрузки могут оказаться достаточно эффективными в отношении коррекции дислипидемий, и целевой уровень холестерина ЛПНП ниже 3 ммоль/л вполне может быть достигнут без назначения гиполипидемической фармакотерапии. При этом процесс достижения целевых значений параметров липидного спектра может занять определенное время (несколько недель или месяцев), а консолидация достигнутого уровня, безусловно, требует продолжения проведения продемонстрировавших свою эффективность нефармакологических мероприятий и в дальнейшем.

Лица авиационного персонала, имеющие проявления атеросклеротического поражения сосудов любой локализации, нуждаются в отстранении от профессиональной деятельности и назначении статинов, а также других препаратов в соответствии с особенностями заболеваний, ассоциированных с атеросклерозом. Показания к назначению статинов продиктованы не только более жесткими требованиями к целевому уровню холестерина ЛПНП, но и необходимостью стабилизирующего воздействия в отношении атеросклеротических бляшек, которые, даже в случаях их небольших размеров, могут явиться причиной острых кардиоваскулярных осложнений.

Решение о возвращении к летному труду лиц с данной патологией, по меньшей мере, спорно, так как к уже существующему риску развития состояний, угрожающих безопасности полетов, обусловленному атеросклеротическим процессом и явно выходящему за рамки «правила 1 %» [5], добавляются риски побочных эффектов, связанных с приемом статинов. При этом приходится констатировать, что исследований, продемонстрировавших безопасность применения статинов, равно как и других гиполипидемических препаратов, у лиц летного состава, на регулярной основе подвергающихся воздействию неблагоприятных факторов высотного полета, не проводилось. Это также ограничивает допуск к летному труду лиц, имеющих клинические показания для приема статинов.

Более лояльная тактика в отношении допуска к профессиональной деятельности возможна у лиц, осуществляющих авиационную деятельность в наземных условиях, т.е. у диспетчеров УВД, полетных диспетчеров и др. [9]. В данном случае необходимо еще раз подчеркнуть важность достижения целевых значений холестерина ЛПНП, а также контроля безопасности терапии.

Перед началом гиполипидемической терапии следует как минимум дважды выполнить анализ липидного спектра с интервалом в 1–2 нед. В последующем уровень липидов целесообразно контролировать 1 раз в 4–12 нед, до достижения их целевых значений, а после достижения пациентом целевого или оптимального уровня холестерина – 1 раз в 6 мес. Уровень трансаминаз контролируется перед началом терапии, через 4–12 нед после начала или изменения лекарственной терапии. После подбора адекватной терапии рутинный контроль трансаминаз не рекомендован. Уровень креатинфосфокиназы контролируется перед началом лечения, если он превышает 4 верхних границы нормы (ВГН), лечение начинать нельзя, анализ следует повторить. Прием статинов или других гиполипидемических препаратов следует также прекратить или снизить дозу, если уровень трансаминаз превышает 3 ВГН. Далее исследование нужно повторить через 4–6 нед. Если уровень трансаминаз не превышает 3 ВГН, лечение рекомендуется продолжить, повторив исследование ферментов через 4–6 нед.

Выводы

1. Изучение взаимосвязи профессионально обусловленных факторов риска и состояния здоровья несомненно важно для формирования концепции клиничко-научного сопровождения врачебно-летной экспертизы и восстановительного лечения летного состава.

2. В случае развития у авиационного специалиста сердечно-сосудистого заболевания, ассоциированного с артериогенными дислипидемиями и

атеросклерозом, оказание ему медицинской помощи должно быть основано на принципах наиболее передовых клинических практик, представленных в международных и национальных рекомендациях, а также на стандартах диагностики и лечения.

3. По показаниям рекомендуется отстранение авиационного специалиста с кардиоваскулярной патологией от летной деятельности, продолжение же ее определяет ряд ограничений для использования многих терапевтических подходов, поскольку крайне высок риск развития побочных эффектов, связанных с приемом лекарственных препаратов и проведением лечебных процедур и вмешательств, с которым можно было смириться при их манифестации у людей «земных» профессий.

Список литературы

1. Кардиоваскулярная профилактика 2017. Российские национальные рекомендации // Российский кардиологический журнал. 2018. Т. 23. № 6. С. 7–122. DOI: <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-6-7-122>.
2. Cardiovascular prevention 2017. National guidelines // Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal. 2018. № 6. P. 7–122. DOI: <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-6-7-122>.
3. Праскурничий Е.А., Книга В.В., Быстрова А.Г., Юстова В.Д. Авиамедицинские аспекты управления факторами риска для безопасности полетов // Авиакосм. и экол. мед. 2016. Т. 50. № 2. С. 21–27.
4. Praskurnichiy E.A., Kniga V.V., Bystrova A.G., Yustova V.D. Aeromedical aspects of controlling factors of risk to flight safety // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2016. V. 50. № 2. P. 21–27.
5. ICAO. Safety Management Manual. Third edition. Doc 9859-AN/474. International Civil Aviation Organization. Third edition. 2013.
6. Piepoli M.F., Hoes A.W., Agewall S. et al. European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice // Eur. Heart J. 2016. V. 37. Is. 29. P. 2315–2381. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw106>.
7. ICAO. Manual of Civil Aviation Medicine. Doc 8984. International Civil Aviation Organization. Third edition. 2012.
8. Ibanez B., James S., Agewall S. et al. ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology // Eur. Heart J. 2018. V. 39. Is. 2. P. 119–177. DOI: [10.1093/eurheartj/ehx393](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx393).
9. Catapano A., Graham I., Backer G. et al. ESC/EAS Guidelines for the Management of Dyslipidaemias // Ibid. 2016. V. 37 Is. 39. P. 2999–3058, DOI: [10.1093/eurheartj/ehw272](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw272).
10. Диагностика и коррекция нарушений липидного обмена с целью профилактики и лечения атеросклероза: Российские рекомендации. VI пересмотр. М., 2017.

Diagnosis and correction of lipid metabolism disorders for the prevention and treatment of atherosclerosis: Russian recommendations. VI revision. Moscow, 2017.

9. Клинико-функциональная диагностика, профилактика и реабилитация профессионально обусловленных нарушений и субклинических форм заболеваний у летного состава: Практическое руководство по авиационной клинической медицине / Р.А. Вартбаронов, ред. М., 2011.

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

Поступила 14.05.2019

AEROMEDICAL RISKS ASSOCIATED WITH ATHEROGENIC DISLIPIDEMIAS AND ATHEROSCLEROSIS

Praskurichiy E.A.¹, Ivanov I.V.^{2,3}

¹Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow

²Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University)

³The State Scientific Research Testing Institute of Military Medicine, Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg

Aeromedical risks associated with atherogenic dislipidemia and atherosclerosis were estimated and risk management strategies were examined. The retroactive (reacting) strategy intends to forestall contingency. The proactive strategy assigns primary importance to establishment, mitigation and prevention of risk factors. The forecasting strategy is based on the analysis of information on the performance indicators of the system and their dynamics in order to determine the circle of the most probable problems in the future. The principles of choosing appropriate intervention for therapy of flying personnel are described.

Key words: atherogenic dislipidemia, atherosclerosis, cardiovascular risk, flying personnel, aeromedical risks, flight safety.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2020. V. 54. № 1. P. 46–51.

УДК 613.6

АНАЛИЗ ПРОФЕССИОНАЛЬНО ВАЖНЫХ КАЧЕСТВ ЛЕТЧИКОВ-ИНСТРУКТОРОВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИХ РАЗВИТИЯ

Засядько К.И.¹, Вонаршенко А.П.¹, Солдатов С.К.², Богомолов А.В.², Язлюк М.Н.¹

¹Государственный центр подготовки авиационного персонала и войсковых испытаний Министерства обороны Российской Федерации им. В.П. Чкалова, г. Липецк

²Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил Министерства обороны Российской Федерации, Москва

E-mail: gniiivm-s@yandex.ru

Цель исследования – анализ профессионально важных качеств летчиков-инструкторов и возможностей их развития при профессиональном становлении летного состава. Исследование выполнялось путем проведения анкетных опросов, а также методом тестирования и последующей тренировки с использованием компьютеризованного комплекса автоматизированного рабочего места специалиста профессионального психологического отбора.

Выделены 3 основные группы профессионально важных качеств летчиков-инструкторов: уровень летной подготовки, уровень методической подготовки, личные качества.

Результаты анализа данных опроса летчиков-инструкторов позволили определить наиболее важные личностные (нервно-эмоциональная устойчивость и уровень мотивации на обучение на земле и в воздухе), интеллектуальные (визуальная ориентировка, приборная ориентировка, уровень внимания), физические (быстрота, двигательная способность), психофизиологические (устойчивость к вестибулярным раздражителям) и специальные (устойчивость к перегрузкам и устойчивость к укачиванию) профессионально важные качества.

Опытные летчики-инструкторы имели наиболее высокие интегральные оценки по пропускной способности и точности слежения (тест распределение внимания), экстраверсии (тест Айзенка) и прогнозу (способности к экстраполяции). Полученные данные позволили обосновать состав тестовой батареи при психофизиологическом обследовании кандидатов на должности, связанные с обучением летного состава, и сформировать психофизиологический профиль выраженности профессионально важных качеств летчика-инструктора.

Цикл из 10 тренировок по соответствующим тестовым методикам показал возможность тренировки соответствующих профессионально важных качеств у летчиков-инструкторов в интересах обеспечения высокой функциональной надежности их профессиональной деятельности.

Ключевые слова: профессионально важные качества, летчик-инструктор, психофизиологический отбор, развитие профессионально важных качеств летчика.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 52–56.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-52-56

Многогранность и многоаспектность профессиональной деятельности летчика-инструктора требует от него высокопрофессиональной летной подготовки и наличия системных знаний в области педагогики, психологии и психофизиологии летного труда [1, 2]. Для обеспечения должной эффективности процесса обучения и снижения уровня аварийности в учебных полетах летчик-инструктор должен обладать особыми способностями [3, 4]. Человек, как биологический социальный объект, характеризуется множеством особенностей и свойств, однако для успешного осуществления определенной профессиональной деятельности лишь небольшая часть из них играет ключевую роль, несет основную нагрузку [5, 6]. Такие особенности и свойства человека обозначают понятием «профессионально важные качества (ПВК)» [7–9]. Исследование ПВК летчиков-инструкторов является актуальным для определения их психофизиологических возможностей при решении задач обучения летчиков, возможностей целенаправленного развития этих качеств [10–15]. Цель исследования – анализ профессионально важных качеств летчиков-инструкторов и возможностей их развития в цикле профессионального становления летного состава.

Методика

Исследование выполнялось путем проведения анкетных опросов, методом тестирования и последующей тренировки с использованием автоматизированного рабочего места специалиста профессионального психологического отбора.

Опытными летчиками-инструкторами (19 человек) со стажем работы 8–10 лет, имеющими квалификацию специалиста 1-го класса и выполняющими

полеты на самолетах типа Як-52, была выполнена экспертиза важности наличия ПВК, которыми должен обладать летчик-инструктор. Участвующие в анкетировании в качестве экспертов летчики-инструкторы акцентировали внимание на 3 основных группах ПВК: уровне летной подготовки, уровне методической подготовки, личных качествах.

Для оценки экстраверсии и нейротизма применяли тест Айзенка; точность слежения и частотную характеристику оценивали с помощью теста «Слежение аналоговое»; распределение внимания, пропускную способность и точность слежения определяли с помощью теста «Распределение внимания»; точность, стабильность, возбуждение, тренд по точности и прогноз оценивали с помощью теста «Пространственно-временная экстраполяция» [16–19].

Все обследуемые были ознакомлены с условиями и рисками проводимых тестов и дали Информированное согласие на их проведение.

Результаты и обсуждение

Результаты опроса летчиков-инструкторов по личностным ПВК представлены на рис. 1. Как видно, к важным личностным ПВК у летчиков-инструкторов отнесены нервно-эмоциональная устойчивость и уровень мотивации на обучение, что обусловливается спецификой их профессиональной деятельности, связанной с ответственностью за результаты обучения курсантов и их безопасность во время полетов.

Из интеллектуальных ПВК (рис. 2) наиболее важными оказались визуальная ориентировка, приборная ориентировка, уровень внимания, что соответствует психофизиологическим особенностям летного труда [1].

Наиболее важным психофизиологическим ПВК летчиков-инструкторов была показана устойчивость к вестибулярным раздражителям (рис. 3). Это обусловлено осознанной необходимостью обеспечения статокINETической устойчивости к воздействию раздражителей, возникающих при активных и пассивных перемещениях в пространстве.

Среди физических ПВК важным качеством наибольшее количество опрошенных отметили наличие у летчиков-инструкторов быстроты (рис. 4): это связывается с необходимостью находиться в готовности к оперативному парированию предпосылок к авиационным происшествиям и авиационным инцидентам, возникающим вследствие ошибок обучаемых.

По мнению летчиков-инструкторов, важным ПВК является наличие устойчивости к пилотажным перегрузкам (перегрузкам маневрирования) и укачиванию (рис. 5). Пилотажные

перегрузки и укачивание (воздушная болезнь) приводят к резкому снижению надежности профессиональной деятельности, и летчики-инструкторы при их возникновении должны отслеживать не только внекабинную и внутрикабинную обстановку, но и состояние обучаемого [9, 15, 20].

Результаты экспериментального исследования специальных способностей летчиков-инструкторов в лабораторных условиях с использованием

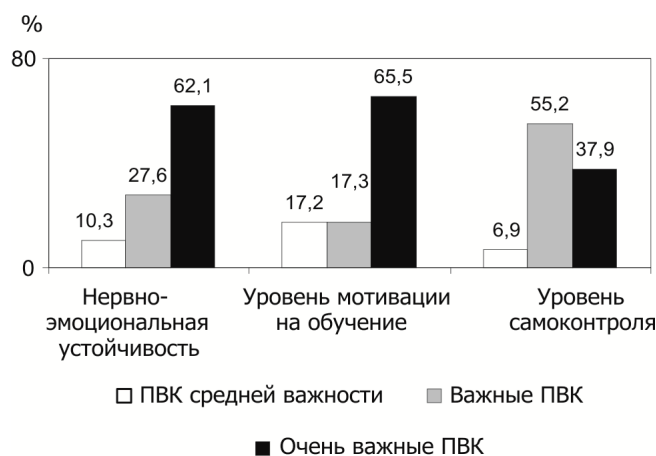


Рис. 1. Экспертная оценка важности личностных ПВК

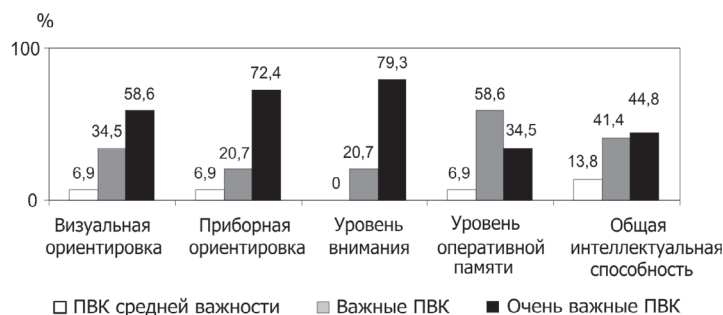


Рис. 2. Экспертные оценки важности интеллектуальных ПВК

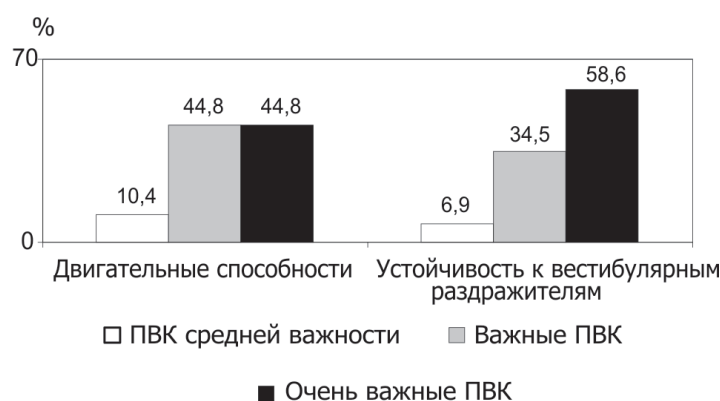


Рис. 3. Оценки важности психофизиологических ПВК

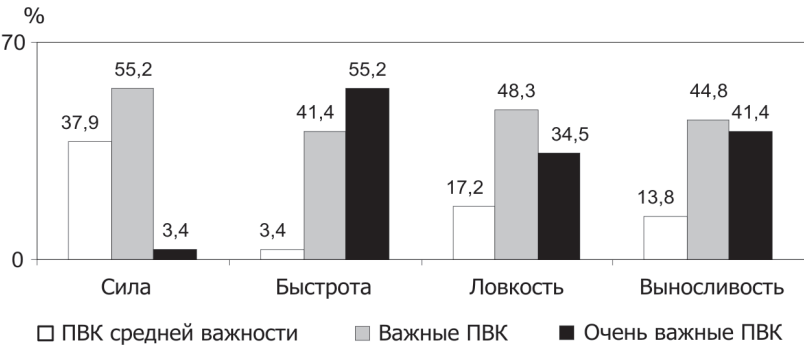


Рис. 4. Оценки важности физических ПВК

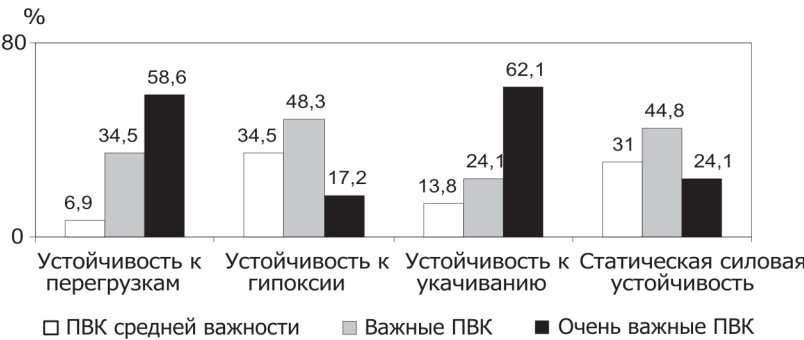


Рис. 5. Оценки важности специальных ПВК

автоматизированных экспертных систем представлены (в шкале стенов) в таблице.

Полученные результаты позволили обосновать тестовую батарею для задач психофизиологического обследования кандидатов на должности, связанные с обучением летного состава, а представленные в таблице показатели можно рассматривать как психофизиологический профиль выраженности ПВК летчика-инструктора.

Для изучения возможности целенаправленного совершенствования ПВК летчиков-инструкторов были проведены тренировки требуемых качеств по соответствующим тестовым методикам [8–12]. Каждый испытуемый выполнил 10 тренировок по каждой из методик, используемых для диагностики соответствующих ПВК. После проведения тренировок отмечена тенденция к увеличению значений стенов по многим показателям (таблица).

По ряду показателей, таких, как распределение внимания, пропускная способность, частотная характеристика, точность слежения и точность оценки, ПВК достоверно повышаются, что свидетельствует о возможности тренировки указанных ПВК у летчиков-инструкторов.

Педагогическая, административная, операторская деятельность летчика-инструктора требует быстрых и точных умственных действий при выполнении большого количества операций, предвидения развития ситуаций в процессе преобразования различного рода поступающей информации, быстрого и своевременного переключения внимания. Динамичность и специфичность

его работы, опосредованность связи с реальными процессами во время контроля за обучаемым и самолетом предполагают глубокую внутреннюю взаимосвязь перцептивных и умственных компонентов в решении задач обучения, в котором важное место занимает образный компонент. Об этом свидетельствуют как результаты анкетного опроса, согласно которым пространственная ориентировка и уровень внимания считаются очень важными ПВК для

Таблица

Интегральные оценки исследуемых ПВК

Исследуемые ПВК	До тренировок	После тренировок
Экстраверсия	7,5	7,8
Нейротизм	5	5
Точность слежения	6	7,5
Частотная характеристика	6,2	8
Распределяемость	5,8	7,3
Пропускная способность	8,3	9,2
Точность слежения	7,3	8,1
Точность	5,2	6,7
Стабильность	5,3	5,5
Возбуждение	5,8	5,8
Тренд по точности	5,4	6
Прогноз	6,4	6,5

летчика-инструктора, так и данные лабораторного обследования, согласно которым показатели тестов распределения внимания и экстраполяционных способностей имеют у них наибольший балл.

Выводы

1. Психофизиологические возможности летчиков-инструкторов существенно зависят от выраженности таких ПВК, как уровень летной подготовки, уровень методической подготовки, личные качества.

2. Мониторинг выраженности этих ПВК с помощью предложенной батареи психофизиологических тестов и тренировки ПВК в цикле профессионального становления летного состава обеспечивают высокую функциональную надежность профессиональной деятельности летчиков-инструкторов.

Список литературы

1. Пономаренко В.А. Психология человеческого фактора в опасной профессии. Красноярск, 2006.
2. Пономаренко В.А., Ворона А.А., Лапа В.В. Стратегические направления решения проблемы человеческого фактора в военной авиации // Военная мысль. 2017. № 4. С. 35–41.
3. Гнедова С.Б., Соломянный А.В. Образ «идеального инструктора» в представлении курсантов Ульяновского института гражданской авиации // Психология когнитивных процессов. 2017. № 3. С. 97–102.
4. Щербак Е.А. Личностные особенности военного летчика высокого класса // Вестник Адыгейского гос. ун-та. Серия 3. Педагогика и психология. 2011. № 2. С. 214–218.
5. Ворона А.А., Герасименко В.Д., Козловский Э.А. и др. Медико-психологическое прогнозирование профессиональной готовности выпускника военно-учебного заведения // Воен.-мед. журнал. 2012. Т. 333. № 1. С. 40–44.
6. Гандер Д.В. Личностно-ориентированный подход в психологическом обеспечении обучения и подготовки летного состава // Авиакосм. и экол. мед. 2006. Т. 40. № 4. С. 64–67.
7. Жданько И.М., Ворона А.А., Запечникова И.В., Булавин В.В. Профессионально важные качества как средство повышения профессиональной деятельности летного состава // Военная мысль. 2017. № 9. С. 87–93.
8. Кочеткова С.В. Профессионально важные качества и специальная физическая подготовленность стажеров-летчиков // Физическая культура, спорт – наука и практика. 2011. № 1. С. 94–98.
9. Гандер Д.В. Личностно-ориентированный подход в психологическом обеспечении авиационной безопасности // Проблемы безопасности полетов. 2012. № 5. С. 36–40.
10. Жданько И.М., Запечникова И.В. Психолого-педагогические методы развития профессионально важных качеств летчика // Воен.-мед. журнал. 2013. Т. 334. № 1. С. 54–55.
11. Солдатов С.К., Засядько К.И., Богомолов А.В. и др. Профессионально важные качества операторов управления воздушным движением // Авиакосм. и экол. мед. 2017. Т. 51. № 1. С. 30–34.
12. Крачко Э.А., Красильников Г.Т., Мальчинский Ф.В., Медведев В.И. Теоретическое и экспериментальное исследование профессионального здоровья летного состава // Вестник Рос. воен.-мед. академии. 2017. № 4 (60). С. 111–115.
13. Запечникова И.В. Совершенствование профессиональной подготовки курсантов авиационного вуза // Там же. 2014. № 1 (45). С. 160–162.

Zapechnikova I.V. Improvement of professional training of cadets of an aviation university // Ibid. 2014. № 1 (45). P. 160–162.

14. Филатов В.Н., Шишов А.А., Оленев Н.И. Приоритетные направления совершенствования системы психофизиологической подготовки летного состава маневренной авиации // Полет. 2013. № 9. С. 45–50.

Filatov V.N., Shishov A.A., Olenov N.I. Priority directions for improving the system of psychophysiological training of flight personnel of maneuverable aviation // Polet. 2013. № 9. P. 45–50.

15. Разинкин С.М., Дворников М.В. Физиология и гигиена летчика в экстремальных условиях. Саратов, 2017.

Razinkin S.M., Dvornikov M.V. Physiology and hygiene of the pilot in extreme conditions. Saratov, 2017.

16. Бодров В.А. Психология профессиональной пригодности. М., 2012.

Bodrov V.A. Psychology of professional suitability. Moscow, 2012.

17. Климов Е.А., Носкова О.Г., Бодров В.А., Ананьев Б.Г. Психологические основы профессиональной деятельности. М., 2012.

Klimov E.A., Noskova O.G., Bodrov V.A., Anan'ev B.G. The psychological basis of professional activity. Moscow, 2012.

18. Буданова Е.И., Богомолов А.В. Характеристика качества жизни и здоровья военнослужащих-контрактников // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 7. С. 627–632.

Budanova E.I., Bogomolov A.V. Characteristics of the quality of life and health of contract servicemen // Gigiena i sanitariya. 2016. V. 95. № 7. P. 627–632.

19. Пухов В.А., Иванов И.В., Чепур С.В. Оценка функционального состояния организма военных специалистов. СПб., 2016.

Pukhov V.A., Ivanov I.V., Chepur S.V. Assessment of the functional state of the bodies of military specialists. St. Petersburg, 2016.

20. Шайхуллин Т.Д. Методика комплексного применения средств физической подготовки для повышения уровня работоспособности летчиков-инструкторов армейской авиации // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2009. № 6. С. 93–98.

Shaykhullin T.D. The method of complex application of means of physical training for increasing the level of efficiency of aviation instructor pilots // Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta. 2009. № 6. P. 93–98.

ANALYSIS OF QUALITIES PROFESSIONALLY IMPORTANT FOR FLIGHT INSTRUCTOR AND THEIR ENHANCEMENT

Zasyadko K.I.¹, Vonarshenko A.P.¹, Soldatov S.K.², Bogomolov A.V.², Yazlyuk M.N.¹

¹Chkalov state center for training aviation personnel and military tests of the Ministry of defense of the Russian Federation, Lipetsk

²Central Scientific Research Institute of Military Air Forces, MD RF, Moscow

The purpose was to analyze the qualities professionally important for flight instructor and potentials of their enhancement. The study involved questionnaire surveys and testing followed by training using a computer-based work place of an expert in career-oriented psychological screening.

The three main categories of FI's career qualities are: flight experience, knowledge and skill level, and personal properties.

The questionnaire surveys elicited the most valuable personal (emotional stability and motivation to be trained on Earth and in air), mental (visual orientation, orientation using flight instruments, concentration), physical (quickness, motor activity), psychophysiological (vestibular stability) and special (g-tolerance and tolerance to motion sickness) professionally important qualities.

Experienced FIs showed the best integral scores in the divided attention test (throughput and tracking accuracy), Eysenck test (extraversion) and prediction (extrapolation ability). These results made it possible to select a reasonable battery of tests to be administered during psychophysiological examination of applicants.

A course of 10 training sessions was successful in enhancement of FIs professional qualities and efficiency.

Key words: professionally important qualities, flight instructor, psychophysiological selection, enhancement of pilot's professional qualities.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2020. V. 54. № 1. P. 52–56.

Поступила 11.04.2018

УДК 612.886

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОРМО- И ГИПОБАРИЧЕСКИХ ГИПОКСИЧЕСКИХ ТРЕНИРОВОК В ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЛИЦ, УПРАВЛЯЮЩИХ СКОРОСТНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

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

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

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

E-mail: buynoff@yandex.ru

Исследовано влияние курсового применения нормо- и гипобарических гипоксических тренировок на функциональное состояние и профессиональную работоспособность человека при воздействии статокINETических нагрузок.

В экспериментах приняли участие 43 человека, здоровых мужчин в возрасте 18–24 года. С помощью пробы прерывистой кумуляции ускорений Кориолиса были отобраны лица, у которых при выполнении вестибулярной пробы в течение первых 3 мин проявлялись вестибуловетивные реакции III степени.

В процессе исследований регистрировались показатели: время переносимости пробы прерывистой кумуляции ускорений Кориолиса, поствращательного нистагма, задержки дыхания на вдохе; степень выраженности саливации, гипергидроза, защитных движений; оценивались показатели самочувствия, активности, настроения; рассчитывался индекс Робинсона; определялась скорость переработки информации. Обследование добровольцев проводилось до, через 10 и 15 сеансов нормо- и гипобарических гипоксических и «ложных» тренировок.

Результаты показали, что курсовое проведение нормо- и гипобарических гипоксических тренировок положительно влияет на переносимость добровольцами пробы прерывистой кумуляции ускорений Кориолиса, улучшает функциональное состояние и некоторые элементы профессиональной деятельности испытуемых. При сравнительной оценке эффективности воздействия нормо- и гипобарических гипоксических тренировок на функциональное состояние и профессиональную работоспособность испытуемых достоверно значимых различий между изучаемыми показателями не выявлено.

Спустя 1, 2, 3 мес после проведенных курсов нормо- и гипобарических гипоксических тренировок время переносимости прерывистой кумуляции ускорений Кориолиса имело устойчивую тенденцию к снижению и постепенно возвращению к исходным значениям.

Ключевые слова: скоростные средства передвижения, функциональное состояние, профессиональная работоспособность, статокINETическая устойчивость, нормо- и гипобарическая гипоксическая тренировка, проба прерывистой кумуляции ускорений Кориолиса.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 57–63.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-57-63

Нарастающая тенденция освоения человеком наземных, водных, воздушных и космических пространств ведет к увеличению энерговооруженности средств передвижения, что, в свою очередь, увеличивает продолжительность и выраженность воздействия на его организм динамических факторов, которые при их чрезмерном воздействии негативно влияют на функциональное состояние и профессиональную работоспособность соответствующих специалистов [1, 2].

В этой связи одной из главных задач, решаемых в настоящее время специалистами физиологии труда, является задача повышения эффективности, профессиональной надежности и безопасности деятельности человека при скоростном передвижении в пространстве [3, 4].

Тенденция постоянного совершенствования средств передвижения сопровождается интенсификацией труда пилотов/водителей, а увеличение цены ошибочных действий ведет к возрастанию напряженности их деятельности, что приводит к ужесточению требований к минимально допустимым объемам психофизиологических резервов соответствующих функциональных систем [2–4].

Данное обстоятельство определяет необходимость поиска новых и совершенствования имеющихся средств и методов, направленных на оптимизацию функционального состояния и повышение профессиональной работоспособности специалистов, управляющих скоростными, высокоманевренными средствами передвижения [1–4].

Особую актуальность приобретает эта задача при обеспечении безопасности специалистов, осуществляющих свою деятельность в условиях пониженного парциального давления кислорода: в районах высокогорья и при выполнении полетов без дополнительного кислородного обеспечения [5, 6].

В настоящее время, несмотря на подробное описание механизмов негативного влияния гипоксии на органы и ткани, она рассматривается и как фактор, который в определенных условиях может способствовать расширению физиологических диапазонов функциональных систем и увеличивать психофизиологические резервы организма человека. Тем самым приводить к оптимизации функционального состояния и повышению профессиональной работоспособности соответствующих специалистов [7, 8].

Скоростное перемещение в пространстве сопровождается влиянием на организм человека угловых, линейных, центростремительных ускорений, которые могут приводить к возникновению вестибулосоматических, вестибуловегетативных и вестибулосенсорных реакций, продолжительность и степень выраженности которых влияют на функциональное состояние, качество профессиональной деятельности и безопасность передвижения человека в пространстве [1, 3, 9].

Это положение подтверждается данными многочисленных наблюдений, фиксирующих частоту случаев укачивания. Так, во время морских плаваний отмечено до 97,1 % случаев морской болезни, у пассажиров наземного транспорта процент укачиваемых достигает 61,3 %, у летного состава зафиксировано до 13,0 % случаев укачивания. Особенно остро эта проблема проявляется при выполнении человеком орбитальных полетов [1, 5, 10].

Применяемые в настоящее время физиологические методы улучшения функционального состояния и работоспособности, как правило, оказывают непосредственное физическое воздействие на различные физиологические системы человека. К таким методам относятся и методы нормо- и гипобарических гипоксических тренировок, которые используют не только для повышения устойчивости организма к недостатку кислорода, но и для повышения резистентности организма и улучшения его адаптивных возможностей к неблагоприятному воздействию различных факторов [11–14].

Методика

Данное исследование выполнено на базе кафедры авиационной и космической медицины Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург) с участием практически здоровых мужчин в возрасте 18–24 года, ознакомленных с предстоящим планом и методиками исследований и давших добровольное письменное согласие на участие в эксперименте.

С помощью традиционной пробы прерывистой кумуляции ускорений Кориолиса (далее – ПКУК), изложенной в пособии для врачебно-летных комиссий «Методика исследований в целях ВЛК» (1972), были отобраны лица, у которых при выполнении

пробы в течение первых 3 мин проявлялись вестибуловегетативные реакции III степени (тошнота, рвота, холодный пот, тахикардия). Далее из их числа методом случайной выборки были сформированы 2 экспериментальные – № 1 (n = 11), № 2 (n = 12) и 2 контрольные – № 3 (n = 10), № 4 (n = 10) группы.

После этого добровольцам экспериментальной группы № 1 провели курс интервальной нормобарической гипоксической тренировки (далее – НГТ), добровольцам экспериментальной группы № 2 – курс интервальной гипобарической гипоксической тренировки (далее – ГГТ). Добровольцам контрольных групп № 3 и 4 провели «ложные» курсы НГТ, ГГТ, при которых атмосферное давление и парциальное давление кислорода соответствовали нормальным значениям.

Для проведения НГТ использовалась установка для гипокситерапии «Бионова-Нова-204, АФ» (Россия). НГТ проводилась курсом по 10 и 15 сеансов. Продолжительность каждого сеанса составляла 30 мин. При 1-м сеансе добровольцам подавалась гипоксическая газовая смесь с содержанием кислорода 17 %. В последующие 4 сеанса концентрацию кислорода понижали на 1–2 %. С 5-го сеанса и до окончания курса НГТ содержание кислорода в гипоксической газовой смеси удерживалось на уровне 12–14 % [5, 11, 15].

ГГТ проводилась с использованием стационарной барокамеры СБК-80. Количество тренировок, процент кислорода и длительность пребывания в гипоксических условиях были те же, что и при проведении НГТ. Для определения «высоты» в барокамере соответствующей процентному содержанию кислорода при проведении НГТ использовали формулу

$$O_2 = \frac{(B - 47) \cdot 21}{B_1 - 47},$$

где O_2 – содержание кислорода в газовой смеси, %; 21 – величина содержания кислорода в атмосферном воздухе, %; B – величина барометрического давления на имитируемой высоте, мм рт. ст.; 47 – величина парциального давления паров воды при температуре тела человека 37 °С, мм рт. ст.; B_1 – величина барометрического давления, при которой проводится исследование, мм рт. ст.

Психофизиологическое обследование добровольцев проводили «до», через 10 и 15 сеансов НГТ, ГГТ и «ложных» курсов НГТ, ГГТ. После окончания тренировок все испытуемые прошли обследование в первоначальном объеме спустя 1, 2, 3 мес.

В ходе проводимых исследований определяли время переносимости пробы ПКУК, выраженность сенсорного, вегетативного и соматического компонентов статокINETических реакций в форме

физиологических проявлений и субъективных ощущений (табл. 1). Для количественной оценки степени их выраженности в предварительно проведенных сериях исследований с участием 82 человек была разработана балльная система их оценки испытуемыми после ПКУК: 0 – отсутствие ощущений, 1 – слабо выраженные, 2 – сильные ощущения.

В процессе обследования у испытуемых регистрировались следующие показатели: время переносимости пробы ПКУК; продолжительность пострвращательного нистагма; время задержки дыхания на вдохе (далее – проба Штанге); степень выраженности саливации, гипергидроза, защитных движений (далее – ЗД); оценивались показатели самочувствия, активности, настроения (далее – САН); рассчитывался индекс Робинсона.

Регистрация и оценка показателей, представленных в табл. 1, осуществлялись согласно

требованиям руководства «Методы исследования в физиологии военного труда» (1993), утвержденного начальником ГВМУ МО РФ.

Оценивалась скорость переработки информации при работе испытуемых с программой I (гашение цветных лампочек соответствующей кнопкой) и программой II (сложение 2 чисел с определением четно/нечетного результата и гашением результата соответствующей кнопкой) на приборе «Физиолог-М» (блок «Резервы»).

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с использованием программного пакета Microsoft Excel в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011. Для каждой выборки показателей рассчитывали числовые характеристики распределения. Оценку значимости различий между сравниваемыми выборками осуществляли с использованием параметрического t-критерия Стьюдента.

Таблица 1

Психофизиологические показатели добровольцев «до», через 10 и 15 сеансов НГТ, ГГТ и «ложных» НГТ, ГГТ ($X \pm m$)

№ п/п	Показатели	До	Через 10 сеансов	Через 15 сеансов
<i>Экспериментальная группа № 1 (НГТ, n = 11)</i>				
1	Переносимость ПКУК (мин)	2,6 ± 0,5	3,4 ± 0,4	4,2 ± 0,3*
2	САН (баллы)	5,9 ± 0,2	6,4 ± 0,3	6,9 ± 0,3*
3	Нистагм (с)	18,3 ± 1,6	16,7 ± 0,5	15,6 ± 0,4*
4	Гипергидроз (баллы)	1,8 ± 0,06	1,5 ± 0,07*	1,2 ± 0,06*
5	Саливация (баллы)	1,7 ± 0,05	1,6 ± 0,06	1,5 ± 0,07*
6	ЗД (баллы)	0,8 ± 0,07	0,7 ± 0,08	0,6 ± 0,08*
7	Проба Штанге (с)	48,6 ± 2,6	51,3 ± 2,1	54,5 ± 1,9*
8	Индекс Робинсона (отн. ед.)	95,4 ± 4,1	97,2 ± 4,6	96,3 ± 4,2
<i>Экспериментальная группа № 2 (ГГТ, n = 12)</i>				
1	Переносимость ПКУК (мин)	2,5 ± 0,4	3,4 ± 0,5	4,2 ± 0,5*
2	САН (баллы)	5,7 ± 0,3	6,3 ± 0,4	6,5 ± 0,4*
3	Нистагм (с)	18,7 ± 1,7	17,0 ± 1,6	15,3 ± 1,5*
4	Гипергидроз (баллы)	1,9 ± 0,07	1,6 ± 0,08*	1,4 ± 0,08*
5	Саливация (баллы)	1,8 ± 0,05	1,7 ± 0,06	1,6 ± 0,06*
6	ЗД (баллы)	0,8 ± 0,07	0,7 ± 0,08	0,6 ± 0,08*
7	Проба Штанге (с)	49,4 ± 2,8	50,8 ± 2,6	55,8 ± 2,7*
8	Индекс Робинсона (отн. ед.)	97,2 ± 4,0	98,4 ± 4,7	99,1 ± 4,3
<i>Контрольные группы № 3, 4 (НГТ, ГГТ, n = 20)</i>				
1	Переносимость ПКУК (мин)	2,6 ± 0,5	2,7 ± 0,6	2,7 ± 0,5
2	САН (баллы)	5,8 ± 0,3	5,9 ± 0,6	5,8 ± 0,5
3	Нистагм (с)	19,0 ± 1,5	19,4 ± 1,3	19,1 ± 1,4
4	Гипергидроз (баллы)	2,0 ± 0,04	2,0 ± 0,05	2,0 ± 0,04
5	Саливация (баллы)	1,7 ± 0,04	1,8 ± 0,06	1,7 ± 0,05
6	ЗД (баллы)	0,9 ± 0,07	0,9 ± 0,07	0,9 ± 0,06
7	Проба Штанге (с)	48,2 ± 3,1	50,1 ± 3,5	51,0 ± 3,6
8	Индекс Робинсона (отн. ед.)	94,3 ± 4,9	95,7 ± 4,2	95,2 ± 4,1

Примечание. Здесь и в табл. 2: * – $p < 0,05$ – достоверность различий по сравнению с исходными показателями; ввиду отсутствия достоверно значимых различий между показателями в контрольных группах № 3, 4, далее по ним приводятся сводные значения.

Результаты и обсуждение

Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, позволили констатировать, что курсовое проведение НГТ и ГГТ положительно влияют на переносимость добровольцами обеих экспериментальных групп пробы ПКУК (см. табл. 1).

Так, после проведения сеансов НГТ и ГГТ достоверно значимо увеличился интегральный показатель устойчивости организма испытуемых к статокINETическим воздействиям – время переносимости пробы ПКУК:

– после 10 сеансов проведения НГТ время переносимости пробы ПКУК увеличилось в 1,3 раза, после 15 сеансов – в 1,6 раза по сравнению с исходными показателями;

– при проведении 10 сеансов ГГТ время переносимости пробы ПКУК увеличилось в 1,4 раза, после 15 сеансов – в 1,7 раза.

Кроме того, после 10 и 15 сеансов НГТ и ГГТ отмечена достоверно значимая положительная динамика улучшения других исследуемых показателей: времени поствращательного нистагма, выраженности гипергидроза, саливации, ЗД, пробы Штанге и САН, что в целом свидетельствует о том, что испытуемые экспериментальных групп № 1 и 2 стали дольше и легче переносить пробу ПКУК.

Анализ данных, полученных при выполнении испытуемыми экспериментальных групп № 1 и 2 элементов операторской деятельности (I и II программы блока «Резервы» прибора «Физиолог-М»), показал, что после проведения 10 и 15 сеансов НГТ и ГГТ у добровольцев этих групп отмечена достоверно значимая положительная динамика, характеризующая улучшение пропускной способности зрительного анализатора (табл. 2).

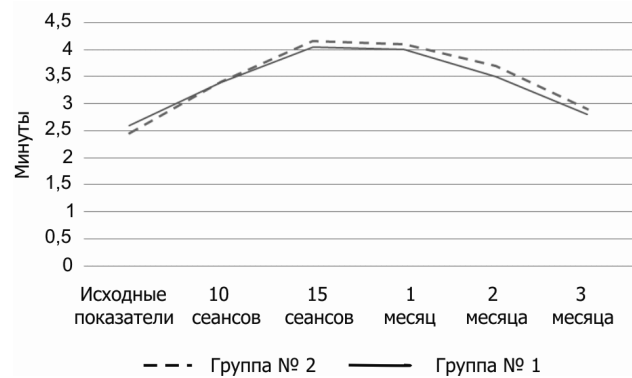


Рисунок. Показатели времени переносимости пробы ПКУК добровольцами экспериментальных групп № 1, 2

Одной из задач, решаемых нами в ходе данных исследований, было определение продолжительности сохранения достигнутого положительного эффекта от применения НГТ, ГГТ.

Анализ полученных данных позволяет говорить о том, что наибольшие значения времени переносимости пробы ПКУК отмечались сразу после проведения 15 сеансов НГТ, ГГТ.

Спустя 1, 2, 3 мес после проведения соответствующих курсов гипоксических тренировок увеличенное время переносимости пробы ПКУК (по сравнению с исходными показателями) у добровольцев обеих экспериментальных групп хотя и сохранялось, но имело устойчивую тенденцию к снижению, стремясь к первоначальным значениям (рисунок).

Сегодня общепризнанно, что действие любого тренирующего фактора вызывает ответную реакцию целостного организма. При этом наряду с тренировкой функциональной системы, обеспечивающей

Таблица 2

Показатели скорости переработки информации добровольцами «до», через 10 и 15 сеансов НГТ, ГГТ и «ложных» НГТ, ГГТ ($X \pm m$)

Показатели	До	Через 10 сеансов	Через 15 сеансов
Экспериментальная группа № 1 (НГТ, n = 11)			
I программа (бит/с)	1,851 ± 0,06	2,159 ± 0,09*	2,174 ± 0,07*
II программа (бит/с)	1,157 ± 0,05	1,224 ± 0,06	1,298 ± 0,06*
Экспериментальная группа № 2 (ГГТ, n = 12)			
I программа (бит/с)	1,864 ± 0,07	2,147 ± 0,09*	2,269 ± 0,08*
II программа (бит/с)	1,154 ± 0,06	1,231 ± 0,07	1,287 ± 0,07*
Контрольные группы № 3, 4 (НГТ, ГГТ, n = 20)			
I программа (бит/с)	1,882 ± 0,09	1,898 ± 0,08	1,884 ± 0,07
II программа (бит/с)	1,110 ± 0,06	1,123 ± 0,08	1,120 ± 0,05

повышение устойчивости к действию экстремального фактора, активируются и системы регуляции гомеостаза, в результате чего повышается их устойчивость как к действующему фактору, так и к другим раздражителям, которые не использовались в качестве тренирующих [4, 13, 16].

Понимание этого феномена позволило обосновать концепцию стресс-лимитирующих систем, согласно которой общая адаптационная стресс-реакция не только предшествует развитию устойчивой адаптации, но и играет важную роль в ее формировании. Происходит это за счет мобилизации энергетических и структурных ресурсов организма и использования их для преимущественного обеспечения функциональных систем, ответственных за адаптацию к конкретному стрессорному фактору. Процесс адаптации сопровождается увеличением мощности стресс-лимитирующих систем, что обеспечивается как центральными регуляторными механизмами, так и механизмами, реализующимися на уровне тканей [7, 15, 17].

Так, в процессе адаптации к гипоксии в структурах головного мозга на 50 % увеличивается концентрация РНК и в 2 раза возрастает синтез белка. Схожая картина наблюдается и в других жизненно важных органах: отмечается увеличение массы легких, их дыхательной поверхности и количества альвеол, возрастают функциональные возможности сердечно-сосудистой и мышечной систем, увеличивается количество эритроцитов и содержание гемоглобина, концентрация миоглобина в скелетных мышцах и миокарде. Отмечается увеличение простагландина Е и опиоидных пептидов, что снижает неблагоприятное влияние стрессорных воздействий [7, 13, 15, 16].

Увеличивается мощность системы энергообеспечения на клеточном уровне, что обусловлено увеличением количества митохондрий, активности ферментов дыхательной цепи, а также увеличением мощности гликолиза. Одновременно с этим наблюдается снижение основного обмена и экономное использование тканями кислорода, что обуславливает снижение потребления его органами и тканями. За счет этого расширяются резервные возможности функциональных систем, увеличивается физическая работоспособность [18, 19].

Таким образом, повышение неспецифической резистентности организма, возникающее в результате адаптации к гипоксии, характеризуется широким спектром физиологических изменений, многие из которых играют существенную роль в коррекции функционального состояния и оптимизации деятельности различных органов и систем. По всей видимости, данный механизм следует рассматривать как основной в цепи происходящих адаптационных изменений, который в конечном итоге и способствует улучшению переносимости пробы ПКУК,

уменьшению вестибуловегетативных реакций и улучшению операторской деятельности.

Выводы

1. Курсовое применение методов НГТ, ГГТ способствует увеличению времени переносимости пробы ПКУК, улучшению показателей функционального состояния и операторской работоспособности добровольцев.
2. Сравнительная эффективность воздействия курсов НГТ, ГГТ на функциональное состояние и качество профессиональной деятельности при статокINETических нагрузках показала отсутствие достоверно значимых различий.
3. После окончания курсов НГТ, ГГТ продолжительность достигнутого положительного эффекта сохраняется в течение 3 мес с нарастающей тенденцией стремления исследуемых показателей к исходным значениям.

Список литературы

1. Плахов Н.Н., Буйнов Л.Г., Макарова Л.П. Функциональное состояние организма моряков-операторов в плавании // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 3. С. 261–264.
Plakhov N.N., Buynov L.G., Makarova L.P. Functional state of the organism of seafarers-operators in swimming // Gigiena i sanitariya. 2017. V. 96. № 3. P. 261–264.
2. Глазников Л.А., Буйнов Л.Г., Говорун М.И. и др. Патогенетический подход к разработке средств и методов повышения статокINETической устойчивости операторов авиакосмического профиля // Вестник оториноларингологии. 2012. № 4. С. 33–36.
Glaznikov L.A., Buynov L.G., Govorun M.I. et al. Pathogenetic approach to the development of tools and methods to increase statokinetic sustainability of operators of aerospace profile // Vestnik otorinolaringologii. 2012. № 4. P. 33–36.
3. Жданько И.М., Хоменко М.Н., Ворона А.А. и др. Медико-психологические проблемы повышения боевой эффективности, безопасности полетов и сохранения профессионального здоровья летного состава в современных условиях // Вестник Международной академии проблем человека в авиации и космонавтике. 2014. № 1 (45). С. 7–12.
Zhdanko I.M., Khomenko M.N., Vorona A.A. et al. Medical-psychological problems of improving the combat effectiveness, safety and occupational health of flying personnel in modern conditions // Vestnik Mezhdunarodnoy akademii problem cheloveka v aviatsii i kosmonavtike. 2014. № 1 (45). P. 7–12.
4. Ушаков И.Б., Богомолов Л.А., Гридин Ю.А., Кукушкин А.В. Методологические подходы к диагностике и оптимизации функционального состояния специалистов операторского профиля. М., 2004.

- Ushakov I.B., Bogomolov L.A., Gridin Yu.A., Kukushkin A.V. Methodological approaches to the diagnosis and optimization of the functional state of the operator profile specialists. Moscow, 2004.
5. Wrigley A. Recent changes in hypoxia training at the Royal Air Force Centre of Aviation Medicine // J. R. Nav. Med. Serv. 2015. V. 101. № 2. P. 186–197.
6. Жильцова И.И., Кагарлицкий А.Н., Калтыгин М.В., Благинина Е.А. Оценка эффективности нормобарической гипоксической тренировки для обеспечения высокой работоспособности авиационных специалистов // Матер. 7-го Междунар. конгр. «Человек в экстремальных условиях: клинико-физиологические, психологические, санитарно-эпидемиологические проблемы профессиональной деятельности». М., 2010. С. 293–294.
- Zhiltsova I.I., Kagarlitskiy A.N., Kaltygin M.V., Blaginina E.A. Evaluation of the effectiveness of normobaric hypoxic training to ensure high efficiency of aviation specialists // Proc. of 7th Int. Congress «Man in extreme conditions: clinical, physiological, psychological, sanitary and epidemiological problems of professional activity». Moscow, 2010. P. 293–294.
7. Gonggalanzi L., Labasangzhu X. et al. Acute mountain sickness, arterial oxygen saturation and heart rate among Tibetan students who reascend to Lhasa after 7 years at low altitude: a prospective cohort study // BMJ. 2017. V. 7. № 7. e016460.
8. Naeije R. High-altitude adaptation: where Tibetans and Han Chinese agree // Exp. Physiol. 2014. V. 99. P. 1593–1604.
9. Рукавишников И.В., Амирова Л.Е., Кукоба Т.Б. и др. Влияние гравитационной разгрузки на тонус мышц спины // Физиология человека. 2017. Т. 43. № 3. С. 64–73.
- Rukavishnikov I.V., Amirova L.E., Kukoba T.B. et al. The effect of gravitational unloading on the tone of the back muscles // Fiziologiya cheloveka. 2017. V. 43. № 3. P. 64–73.
10. Буйнов Л.Г., Благинин А.А., Котов О.В., Сорокина Л.А. Влияние курсового применения электротранквилизации центральной нервной системы на статокINETическую устойчивость человека // Авиакосм. и экол. мед. 2016. Т. 50. № 2. С. 69–71.
- Buynov L.G., Blagin A.A., Koto O.V., Sorokina L.A. Effect of course application of electrotransmission of the central nervous system on human statokinetic stability // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2016. V. 50. № 2. P. 69–71.
11. Благинин А.А., Жильцова И.И., Калтыгин М.В. и др. Сочетанное использование гипоксической тренировки, электроимпульсной нейрорегуляции и музыкального кондиционирования для коррекции функционального состояния организма и повышения работоспособности операторов авиационного профиля: Учеб.-метод. пос. СПб., 2011.
- Blagin A.A., Zhiltsova I.I., Kaltygin M.V. et al. The combined application of hypoxic training, the electric pulse of neuroregulation and musical conditioning for correction of the functional state of the organism and improving the efficiency of operators, aircraft profile: Teaching aid. St. Petersburg, 2011.
12. Gonggalanzi L., Nafstad P. Response to letter to the editor regarding «Acute mountain sickness among tourists visiting the high-altitude city of Lhasa», Tibet, China at 3658 m above sea level: a cross-sectional study // Arch. Public Health. 2017. V. 75.
13. Mekjavic I.B., Amon R., Kölegård A. et al. The effect of normobaric hypoxic confinement on metabolism, gut hormones, and body composition // Frontiers in Physiol. 2016. V. 7. P. 202–214.
14. Левшин И.В. Принципы выбора режимов гипоксического воздействия в спорте // Матер. VII Всеарм. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Баротерапия в комплексном лечении и реабилитации раненных, больных и пораженных». 2009. СПб., С. 105.
- Levshin I.V. Principles of choice of hypoxic effects in sports // Proc. of VII All-Army scientific and practical conference with international participation «Barotherapy in the complex treatment and rehabilitation of the wounded, sick and affected – 2009». St. Petersburg, 2009. P. 105.
15. Горанчук В.В., Сапова Н.И., Иванов А.О. Гипокситерапия. СПб., 2003.
- Goranchuk V.V., Sapova N.I., Ivanov A.O. Hypoxytherapy. St. Petersburg, 2003.
16. Gangwar A., Bhargava Y., Ahmad K. Diagnosis and prophylaxis for high-altitude acclimatization: Adherence to molecular rationale to evade high-altitude illnesses // Life Sci. 2018. PII: S0024-3205(18)30221-2.
17. Кулешов В.И., Охотников С.В., Шевченко С.Б. Актуальные проблемы баротерапии // Матер. 5-й Всеарм. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Баротерапия в комплексном лечении и реабилитации раненных, больных и пораженных – 2003». СПб., 2003. С. 24–28.
- Kuleshov V.I., Okhotnikov S.V., Shevchenko S.B. Actual problems of hypobaric hypoxic stimulation // Proc. of VII All-Army scientific and practical conference with international participation «Barotherapy in the complex treatment and rehabilitation of the wounded, sick and affected – 2003». St. Petersburg, 2003. P. 24–28.
18. Hackett P.H., Rennie D. The incidence, importance, and prophylaxis of acute mountain sickness // Lancet. 2016. № 7996. P. 1149–1155.
19. Luks A.M., Swenson P. Bärtsch Acute high-altitude sickness // Eur. Respir. Rev. 2017. V. 26. № 143. e160096.

Поступила 04.03.2019

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF NORMAL AND LOW-PRESSURE HYPOXIC TRAINING IN OPTIMIZATION OF THE FUNCTIONAL STATE AND IMPROVEMENT OF PROFESSIONAL FITNESS OF PEOPLE CONTROLLING HIGH-SPEED VEHICLES

**Buynov L.G.¹, Blaguinin A.A.², Glaznikov L.A.²,
Sorokina L.A.¹**

¹Herzen State Pedagogical University of Russia,
St. Petersburg

²Military Medical Academy named after S.M. Kirov,
St. Petersburg

Effects of a course of normal and hypobaric hypoxic training on the functional state and working capacity under statokinetic load were evaluated in 43 healthy male subjects aged 18 to 24 years. Selected were subjects who demonstrated the third-degree vestibulo-autonomic reactions during the initial 3 minutes of exposure to intermittent cumulation of Coriolis accelerations.

The following parameters were measured: time of test tolerance, post-rotational nystagmus, inspiration breath-hold, salivation, hyperhydrosis, and protective movements. Self-assessment activity and mood reports were analyzed; Robinson index was calculated and rate of information processing was determined. The subjects were tested before, after training sessions 10 and 15, and after «false» sessions.

The results showed that the course of normal and hypobaric hypoxic training was favorable to tolerance of the exposure to intermittent cumulation of Coriolis accelerations, functional state and some elements of professional activities of the subjects. Comparison of effectiveness between the normal and hypobaric hypoxic training sessions did not reveal reliable difference in the measurements.

After 1, 2 and 3 months since these training courses time of tolerance to the Coriolis accelerations test tended to reduce and gradual return to baseline values.

Key words: high-speed vehicles, functional state, professional fitness, statokinetic stability, normal and low-pressure hypoxic training, intermittent cumulation of Coriolis accelerations test.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).
2020. V. 54. № 1. P. 57–63.

УДК 612.886

ВЛИЯНИЕ ИНВАЗИИ *ASCARIS LUMBRICOIDES* НА СТАТОКИНЕТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ КАНДИДАТОВ В КУРСАНТЫ ЛЕТНОГО УЧИЛИЩА

Глазников Л.А.¹, Сорокина Л.А.², Буйнов Л.Г.², Гудков Р.В.¹

¹Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

²Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург

E-mail: buynoff@yandex.ru

Цель исследования – изучение влияния дегельминтизации, в повышении статокинетической устойчивости кандидатов в курсанты летного училища.

Эксперименты проводились с участием 14 мужчин (17–18 лет), являющихся кандидатами на зачисление в летное училище. Статокинетическая устойчивость обследуемых оценивалась до и после дегельминтизации. В этих целях использовалась проба с непрерывной кумуляцией ускорений Кориолиса, выполняемая и оцениваемая по общепринятой методике на кресле Барани.

Результаты проведенных исследований показали, что у обследуемых экспериментальной группы, прошедших курс дегельминтизации, достоверно значимо (по сравнению с исходными показателями) увеличилось время переносимости этой пробы. Одновременно было отмечено уменьшение степени выраженности вестибулосенсорных, вестибуловегетативных, вестибулосоматических реакций и показателей статического стабилметрического теста при выполнении комплексной функциональной компьютерной стабیلлографии. Полученные данные свидетельствуют о повышении уровня статокинетической устойчивости испытуемых после проведенной дегельминтизации.

Ключевые слова: кандидаты в курсанты летного училища, функциональное состояние, профессиональная работоспособность, вестибулярная система, статокинетическая устойчивость, дегельминтизация.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 64–68.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-64-68

Возможности эффективного использования скоростных высокоманевренных летных средств передвижения определяются не только уровнем теоретической подготовленности соответствующих специалистов, но и достаточным уровнем их профессиональной работоспособности, физиологическими резервами и состоянием здоровья [1–5]. Труд человека, управляющего воздушным транспортным средством, характеризуется исключительно высоким темпом восприятия и переработки информации, необходимостью быстрого и эффективного принятия решения в зависимости от полетной ситуации [6, 7].

Во время полета на современных высокоманевренных самолетах на организм человека воздействует целый комплекс физических факторов, способных оказать негативное влияние на функциональное состояние, что не исключает возможности снижения качества пилотирования летательным аппаратом, особенно в случае ухудшения состояния здоровья у летного состава [8–10]. Одной из важнейших задач, решаемых специалистами в области физиологии летного труда, является необходимость повышения эффективности и профессиональной надежности летного состава, управляющего современными летательными аппаратами [3, 6].

Общепризнано, что чрезмерные статокинетические нагрузки у летного состава могут приводить не только к развитию вестибулосенсорных, вестибуловегетативных и вестибулосоматических реакций, но и вызывать ухудшение самочувствия и снижение работоспособности – вплоть до полной ее потери [11–14]. Анализ статистических данных свидетельствует о том, что число инцидентов, аварий и катастроф, произошедших из-за нарушения пространственной ориентировки, возникновения иллюзорных ощущений на основе развития симптомокомплекса укачивания, за последние десятилетия имеет выраженную тенденцию к увеличению [11–17].

Проблема сохранения статокинетической устойчивости на протяжении последнего столетия решалась, как правило, путем повышения вестибулярной устойчивости: проводили активные или пассивные вестибулярные тренировки, использовали специальные фармакологические препараты.

Вместе с тем ограниченные возможности организма человека не всегда в полной мере соответствуют тактико-техническим характеристикам современных скоростных транспортных средств и, что нередко, являются одной из причин аварий и катастроф [11, 17]. Кроме того, установлена негативная роль различного рода интоксикаций организма и патологических процессов, способствующих снижению статокинетической устойчивости человека.

По современным данным одной из причин развития болезни движения в авиационном полете является развитие «сенсорного конфликта» между различными структурами лабиринта (внутрилабиринтный сенсорный «конфликт») либо ряд экстралабиринтных факторов, участвующих в обеспечении контроля и восприятия человеком пространства и функции равновесия [1, 3, 6, 8].

Цель исследования – изучение уровня статокINETической устойчивости кандидатов в курсанты летного училища с верифицированными признаками гельминтозной интоксикации на фоне проводимой нематодцидной этиотропной терапии.

Методика

Исследования проходили на базе медсанчасти летного училища с участием 14 мужчин (представителями стран Средней Азии в возрасте 17–18 лет), являющихся кандидатами в курсанты 1-го курса летного училища. Используемые методики и объем обследования проходил в соответствии со сроками и требованиями, изложенными в соответствующих руководствах («Методы исследования в целях врачебно-летной экспертизы». М., 1995).

Диагноз заболевания (В.77. Аскаридоз) устанавливался по результатам клиничЕско-лабораторных исследований. Диагностика гельминтозов проводилась в соответствии с методическими указаниями 4.2.3145-13 Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека [18–20].

В период ежегодной подготовки к прохождению первичной врачебно-летной комиссии у некоторых кандидатов на летное обучение в результате паразитологического исследования фекалий были выявлены яйца *Ascaris lumbricoides*. 14 курсантов с наличием аскаридоза составляли экспериментальную группу, 10 здоровых лиц контрольную группу.

До начала исследований всем обследуемым была проведена проба непрерывной кумуляции ускорений Кориолиса (далее – НКУК), по методике С.С. Маркаряна (1970). НКУК выполнялась на электровращающемся кресле модификации Nydiag с программным и дистанционным управлением.

В процессе исследований определялось время переносимости пробы НКУК с оценкой степени выраженности сенсорного, вегетативного и соматического компонентов; оценивались гемодинамические показатели с расчетом индексов Стара, Робинсона и минутного объема кровообращения (далее – МОК), а также показателей статического стабилОметрического теста комплексной функциональной компьютерной стабилОграфии (далее – КФКС).

Лицам экспериментальной группы было проведено этиотропное лечение альбендазолом (в дозировке 400 мг, однократно). Лица контрольной группы получали плацебо.

Контроль эффективности проводимой терапии оценивался на основании получения отрицательных результатов наличия яиц и личинок гельминтов в фекалиях обследуемых через 4 нед после лечения, с повторной оценкой переносимости пробы НКУК.

Количественная оценка переносимости пробы НКУК проводилась на основе степени выраженности субъективных ощущений (в баллах) по 3-балльной шкале: 0 – отсутствие ощущений, 1 – слабо выраженные, 2 – сильные ощущения.

С использованием 2-канального электронистагмографа ENG 4000 Homoth Medizin Elektronik осуществлялась регистрация нистагмной реакции до и после воздействия пробы НКУК с последующим расчетом продолжительности, амплитуды и частоты горизонтального нистагма.

Для оценки выраженности кожно-гальванической реакции (далее – КГР) использовался аппаратно-программный комплекс «ДИАНЕЛ-5120». В области ладонных поверхностей концевых фаланг мизинцев и безымянных пальцев определялись сопротивление, амплитуда и частота КГР, характеризующие степень выраженности гипергидроза.

Статический стабилОметрический тест КФКС выполнялся при помощи стабилОграфа СТ-02 по стандартной методике с расчетом показателей: скорости увеличения длины и площади статокINETОграммы, амплитуды колебаний (далее – АК) во фронтальном и сагиттальном направлениях, проекции общего центра тяжести (далее – ПОЦТ), коэффициента асимметрии (далее – КА) во фронтальной и сагиттальной плоскостях.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программного пакета Microsoft Excel в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011. Для каждой выборки показателей рассчитывали числовые характеристики распределения. Оценку значимости различий между сравниваемыми выборками осуществляли с использованием параметрического t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Полученные данные свидетельствуют о положительном эффекте проведенной дегельминтизации, что подтверждается достоверно значимым увеличением времени переносимости пробы НКУК лицами экспериментальной группы с $472,5 \pm 56,2$ до $596,6 \pm 61,0$. При этом отмечено уменьшение степени выраженности субъективных ощущений: чувства жара с $0,7 \pm 0,02$ до $0,5 \pm 0,03$, ощущение тяжести в голове с $0,9 \pm 0,04$ до $0,6 \pm 0,05$, головокружения с $0,8 \pm 0,06$ до $0,5 \pm 0,05$, дискомфорта в желудке с $0,5 \pm 0,07$ до $0,3 \pm 0,04$. Также достоверно значимо уменьшились показатели выраженности гипергидроза с $68,3 \pm 4,3$ до $79,4 \pm 5,0$.

и продолжительности горизонтального нистагма с $17,6 \pm 0,8$ до $16,1 \pm 0,6$. При сравнении показателей частоты, амплитуды КГР и нистагма, а также индексов Стара, Робинсона и МОК, полученных до и после этиотропного лечения, достоверно значимых изменений не было отмечено (табл. 1). Положительный эффект дегельминтизации подтверждался и позитивной динамикой показателей статического стабилметрического теста КФКС у обследуемых экспериментальной группы (табл. 2). Так, в пробе с открытыми глазами имело место уменьшение скорости увеличения длины с $41,3 \pm 2,7$ до $37,2 \pm 2,9$ и площади статокинезиограммы с $68,5 \pm 3,6$ до $61,2 \pm 3,8$, АК ПОЦТ во

фронтальной плоскости с $6,8 \pm 0,4$ до $6,0 \pm 0,4$ и сагиттальной плоскости с $7,1 \pm 0,4$ до $6,3 \pm 0,4$, КА во фронтальном направлении с $7,5 \pm 0,5$ до $6,5 \pm 0,5$ и сагиттальном направлении с $7,7 \pm 0,4$ до $7,0 \pm 0,3$. При этом в пробе с закрытыми глазами достоверно значимых изменений исследуемых показателей установлено не было (см. табл. 2). Полученные результаты в целом согласуются с данными полученными ранее другими авторами, и свидетельствуют о том, что дегельминтизация устраняет токсическое воздействие продуктов жизнедеятельности гельминтов на организм человека, механическое раздражение гельминтами слизистой оболочки тонкой кишки и предотвращает развитие

Таблица 1

Исследуемые вестибулометрические показатели у обследуемых до и после дегельминтизации

№ п/п	Показатели	Экспериментальная группа (М ± σ)		Контрольная группа (М ± σ)	
		До	После	До	После
1	Время переносимости пробы НКУК (с)	472,5 ± 56,2	596,6 ± 61,0*	455,4 ± 61,5	464,5 ± 64,7
2	Чувство жара (баллы)	0,7 ± 0,02	0,5 ± 0,03*	0,5 ± 0,04	0,6 ± 0,02
3	Ощущение тяжести в голове (баллы)	0,9 ± 0,04	0,6 ± 0,05*	0,6 ± 0,06	0,5 ± 0,08
4	Головокружение (баллы)	0,8 ± 0,06	0,5 ± 0,05*	0,4 ± 0,05	0,3 ± 0,07
5	Дискомфорт в желудке (баллы)	0,5 ± 0,07	0,3 ± 0,04*	0,2 ± 0,03	0,3 ± 0,04
6	КГР (КОМ)	68,3 ± 4,3	79,4 ± 5,0*	65,2 ± 4,9	67,1 ± 5,2
7	Продолжительность нистагма (с)	17,6 ± 0,8	16,1 ± 0,6*	16,0 ± 0,7	15,9 ± 0,6
8	Количество обследуемых	14	14	10	10

Примечание. Здесь и в табл. 2: * – достоверность различий (p < 0,05) по сравнению с исходными показателями; НКУК – непрерывная кумуляция ускорений Кориолиса; КГР – кожно-гальваническая реакция.

Таблица 2

Показатели статического стабилметрического теста КФКС у обследуемых до и после дегельминтизации

№ п/п	Исследуемые показатели	Экспериментальная группа (M ± σ)		Контрольная группа (M ± σ)	
		До	После	До	После
Проба с открытыми глазами					
1	Скорость увеличения длины, мм/с	41,3 ± 2,7	37,2 ± 2,9*	39,4 ± 3,2	39,0 ± 2,8
2	Скорость увеличения площади, мм²/с	68,5 ± 3,6	61,2 ± 3,8*	62,7 ± 4,0	61,2 ± 3,7
3	АК ПОЦТ, фронтальная плоскость, мм	6,8 ± 0,4	6,0 ± 0,4*	6,2 ± 0,5	6,4 ± 0,5
4	АК ПОЦТ, сагиттальная плоскость, мм	7,1 ± 0,4	6,3 ± 0,4*	6,3 ± 0,5	6,4 ± 0,4
5	КА, фронтальное направление, %	7,5 ± 0,5	6,5 ± 0,5*	6,4 ± 0,5	6,5 ± 0,6
6	КА, сагиттальное направление, %	7,7 ± 0,4	7,0 ± 0,3*	7,2 ± 0,4	7,1 ± 0,5
7	Количество обследуемых	14	14	10	10

Примечание. КФКС – комплексная функциональная компьютерная стабiloграфия; АК ПОЦТ – амплитуда колебания проекции общего центра тяжести; КА – коэффициент асимметрии.

гиповитаминозов. При этом происходит нормализация процессов пищеварения и двигательной функции кишечника, снижение сенсibilизирующего эффекта и уменьшение предрасположенности организма к аллергическим реакциям. Проводимое лечение способствует восстановлению функций пораженных тканей, органов и систем.

Выводы

1. После проведенной дезинтоксикационной терапии у обследуемых с гельминтозной интоксикацией была получена положительная динамика повышения статокINETической устойчивости, что обусловлено купированием интоксикационного, диспепсического, астено-невротического и болевого абдоминального синдромов.

2. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о положительном эффекте дезинтоксикационной терапии в целях повышения уровня статокINETической устойчивости у лиц, прошедших курс этиотропной терапии, что необходимо учитывать при экспертной оценке уровня статокINETической устойчивости у летного состава.

Список литературы

1. Буйнов Л.Г., Сорокина Л.А. Профилактика летных происшествий и воздушных катастроф. Оценка вестибулярной устойчивости летно-подъемного состава из различных климатогеографических регионов мира (с учетом национальной принадлежности, состояния здоровья и социально-бытовых условий). Казань, 2015.

Buynov L.G., Sorokina L.A. Prevention flight incidents and air accidents. Assessment vestibular fastness flight and lifting structure from various climate-geographical regions the world (taking into account national identity, the state of health and social conditions) Kazan, 2015.

2. Alpini D.C., Cesarani A., Brugnoli G. Vertigo rehabilitation protocols. NY., 2014. DOI: <http://doi.org/10.1007/978-3-319-05482-7>.

3. Благинин А.А., Лизогуб И.Н. Медицинские аспекты безопасности полетов // Воен.-мед. журнал. 2017. Т. 338. № 4. С. 51–55.

Blaginin A.A., Lizogub I.N. Medical aspects of flight safety // Voenno-meditsinskiy zhurnal. 2017. V. 338. № 4. P. 51–55.

4. Sayenko D.G., Artamonov A.A., Kozlovskaya I.B. Characteristics of postural corrective responses before and after long-term spaceflights // Human Physiol. 2011. V. 37. № 5. P. 91–95.

5. Kornilova L.N., Naumov I.A., Makarova S. Static torsional otolith-cervical-ocular reflex after prolonged exposure to weightlessness and a 7-day immersion // Acta Astronaut. 2011. V. 68. № 9–10. P. 1462–1468.

6. Козлов В.В., Мединцев И.И. Человек и безопасность полетов: Научно-практические аспекты снижения

авиационной аварийности по причине человеческого фактора. М., 2013.

Kozlov V.V., Medintsev I.I. Person and safety flights: Scientific and practical aspects decrease in aviation accident rate because a human factor. Moscow, 2013.

7. Kornilova L.N., Naumov I.A., Glukhikh D.O. et al. The effects of support-proprioceptive deprivation on visual-manual tracking and vestibular function // Human Physiol. 2013. V. 39. № 5. P. 462–471.

8. Благинин А.А., Гребенюк А.Н., Лизогуб И.Н. Основные направления совершенствования медицинского обеспечения полетов авиации ВВС в современных условиях // Воен.-мед. журнал. 2014. Т. 335. № 2. С. 42–45.

Blaginin A.A., Grebenyuk A.N., Lizogub I.N. The basic directions perfection medical support flights of Air Force aircrafts in the modern world // Voenno-meditsinskiy zhurnal. 2014. V. 335. № 2. P. 42–45.

9. Глазников Л.А., Буйнов Л.Г., Говорун М.И. и др. Патогенетический подход к разработке средств и методов повышения статокINETической устойчивости операторов авиакосмического профиля // Вестник оториноларингологии. 2012. № 4. С. 33–36.

Glaznikov L.A., Buynov L.G., Govorun M.I. et al. Pathogenetic approach to development means and methods increase in statokinetic stability of operators of an aerospace profile // Vestnik otorinolaringologii. 2012. № 4. P. 33–36.

10. Nishiike S., Okazaki S., Watanabe H. The effect of visual-vestibulosomatosensory conflict induced by virtual reality on postural stability in humans // J. of Med. Invest. 2013. V. 60. № 3–4. P. 236–239.

11. Albery W., Bushby A., Holmes S.R. et al. SD statistics across NATO flight operations // 78th Annual Scientific Meeting. 2007. P. 40.

12. Ruckenstein M.J. Rapid interpretation of balance function tests. San Diego, 2015.

13. Sayenko D.G., Miller T.F., Melnik K.A. et al. Acute effects of dry immersion on kinematic characteristics of postural corrective responses // Acta Astronaut. 2016. V. 121. P. 110–115.

14. Mao Y., Chen P., Li L., Huang D. Virtual reality training improves balance function // Neural Regeneration Res. 2014. V. 9. № 17. P. 1628–1834.

15. Замерград М.В. Реабилитация при заболеваниях вестибулярной системы // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2013. № 1. С. 18–22.

Zamergrad M.V. Rehabilitation in diseases of the vestibular system // Nevrologiya, neyropsikhiatriya, psikhosomatika. 2013. № 1. P. 18–22.

16. Пальчун В.Т., Гусева А.Л., Чистов С.Д. Вестибулярная реабилитация: обоснование, показания, применение // Consilium Medicum. 2015. № 9 (17). С. 113–120.

Palchun V.T., Guseva A.L., Chistov S.D. Vestibular rehabilitation: rationale, indications and application // Consilium Medicum. 2015. № 9 (17). P. 113–120.

17. Кунельская Н.Л., Байбакова Е.В., Чугунова М.А., Гусева А.Л. Использование методов вестибулярной

реабилитации в комплексной терапии вестибулярных нарушений различного генеза // Лечебное дело. 2015. № 2. С. 52–55.

Kunelskaya N.L., Baybakova E.V., Chugunova M.A., Guseva A.L. Use of methods of vestibular rehabilitation in complex therapy vestibular disorders different genesis // Lechebnoe delo. 2015. № 2. P. 52–55.

18. Лабораторная диагностика гельминтозов и протозоозов: Метод. указания. М., 2012. Laboratory diagnosis of helminthiasis and protozoosis: Methodical instructions. Moscow, 2012.

19. Hagel I., Giusti T. Ascaris lumbricoides: an overview of therapeutic targets // Infect. Disord. Drug Targets. 2010. V. 10. № 5. P. 349–367.

20. Keiser J., Utzinger J. Efficacy of current drugs against soil-transmitted helminth infections: systematic review and meta-analysis // JAMA. 2008. V. 299. № 16. P. 1937–1948.

Поступила 25.03.2019

EFFECT OF ASCARIS LUMBRICOIDES INVASION ON STATOKINETIC STABILITY OF FLIGHT SCHOOL APPLICANTS

Glaznikov L.A.¹, Sorokina L.A.², Buynov L.G.², Gudkov R.V.¹

¹Military Medical Academy named after S.M. Kirov, St. Petersburg

²Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

Purpose of the investigation was to assess effects of dehelminthization on the statokinetic tolerance of flight school applicants.

Statokinetic tolerance of 14 candidates (17–18 y.o.) was tested before and after dehelminthization by exposure to intermittent cumulation of Coriolis accelerations according to the standard Barany's procedure.

The results showed that after the dehelminthization therapy the applicants increased time of tolerance significantly (vs. initial test data). Furthermore, the severity of vestibulo-sensory, vestibulo-autonomic and vestibulo-somatic reactions decreased as did the results of static stabilometry testing.

Key words: applicants to flight school, functional state, professional fitness, vestibular system, statokinetic stability, dehelminthization.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2020. V. 54. № 1. P. 64–68.

УДК 611.08:615.21:599.3/.8

ДЕЙСТВИЕ КОМБИНАЦИЙ МЕЛАТОНИНА С ПРОИЗВОДНЫМИ 3-ГИДРОКСИПИРИДИНА НА НЕЙРОНЫ ЛАТЕРАЛЬНОГО ВЕСТИБУЛЯРНОГО ЯДРА И КОРЫ МОЗЖЕЧКА У ЖИВОТНЫХ

Яснецов Вик.В., Иванов Ю.В., Карсанова С.К., Яснецов В.В.

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

E-mail: vvy@lsn.ru

В экспериментах на кошках установлено, что новые производные 3-гидроксипиридина ИБХФ-27 и СК-119, лекарственные препараты мексидол и мелатонин, а также комбинации мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом оказывали прямое влияние на 84, 52, 66, 71, 98, 88 и 89 % нейронов латерального вестибулярного ядра (ЛВЯ) соответственно. Угнетающий эффект у ИБХФ-27 наблюдался в 1,8 и 1,4 раза чаще, чем у СК-119 и мексидола. У комбинаций мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом угнетающий эффект и прямое влияние на нейроны ЛВЯ наблюдался чаще, чем у их компонентов в отдельности. У комбинации мелатонина с ИБХФ-27 угнетающий эффект отмечался чаще, чем у 2 других комбинаций – мелатонина с СК-119 и мексидолом, а прямое влияние на нейроны – чаще, чем у комбинации мелатонина с СК-119. ИБХФ-27, СК-119, мексидол и мелатонин, а также комбинации мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом оказывали прямое влияние на 81, 43, 69, 81, 98, 88 и 89 % клеток Пуркинье соответственно, при этом угнетающий эффект у ИБХФ-27 отмечался в 2,1 раза чаще, чем у СК-119. У комбинаций мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом угнетающий эффект наблюдался чаще, чем у их компонентов в отдельности, а прямое влияние на клетки Пуркинье у комбинации мелатонина с ИБХФ-27 чаще, чем у ее компонентов. У комбинации мелатонина с ИБХФ-27 угнетающий эффект отмечался чаще, чем у 2 других комбинаций – мелатонина с СК-119 и мексидолом.

Ключевые слова: новые производные 3-гидроксипиридина, мексидол, мелатонин, комбинация, латеральное вестибулярное ядро, клетки Пуркинье, кошки.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 69–74.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-69-74

Болезнью движения (БД), или укачиванием, страдает огромное количество людей, что обусловлено интенсивным развитием мореплавания и авиации, освоением космического пространства, а также появлением новых видов наземного транспорта и др. [1–7]. Поэтому профилактика и лечение БД – одна из важнейших проблем авиакосмической и морской медицины, а также для путешественников.

Ранее было установлено, что комбинация мелатонина с отечественным лекарственным препаратом мексидолом (производное 3-гидроксипиридина – этилметилгидроксипиридина сукцинат – широко применяемое в различных областях медицины) и с прометазинном (блокатор гистаминовых H1-рецепторов, широко используемый сегодня в авиационной, космической и морской медицине) оказывают выраженное вестибулопротекторное действие у крыс [8]. Комбинации мелатонина с мексидолом или новым производным 3-гидроксипиридина ИБХФ-27 оказывают выраженное нейропротекторное и антиамнестическое действие, превосходя свои компоненты [9].

Для исследования были выбраны следующие 2 структуры головного мозга животных: латеральное вестибулярное ядро (ЛВЯ) и мозжечок.

Как известно, от ЛВЯ в основном начинается вестибулоспинальный тракт, благодаря которому осуществляются вестибулярные рефлексy мышц шеи и конечностей, а также регуляция мышечного тонуса [10–13]. Кроме того, ЛВЯ посылает восходящие волокна к ядрам глазодвигательного нерва.

Согласно современным представлениям мозжечок участвует не только в моторном контроле и осуществлении вестибулярной функции, но и играет важнейшую роль во всех высших функциях мозга – внимании, мышлении, памяти, планировании и принятии решений и даже нужен для творчества и др. [14–18]. При этом ключевой элемент мозжечка – клетки Пуркинье – представляют собой высокодифференцированные нейроны с обширным ветвлением дендритов и различными типами многочисленных синаптических контактов и обеспечивают единственный выход из мозжечка, являясь ГАМК-ергическими.

Однако действие комбинаций мелатонина с мексидолом и новыми производными 3-гидроксипиридина на ЛВЯ и кору мозжечка у животных совсем не изучено. Поэтому необходимо продолжить ранее начатые исследования.

Цель исследования – изучение действия комбинаций мелатонина с мексидолом и новыми

производными 3-гидроксипиридина на нейроны ЛВЯ и клетки Пуркинье кошек.

Методика

Электрофизиологические эксперименты проводили на 9 обездвиженных миорелаксантами кошками-самцами массой 3,1–3,8 кг, находящихся на искусственной вентиляции легких. Все хирургические манипуляции осуществляли в условиях общей анестезии барбитуратами (внутрибрюшинно этаминал-натрий в дозе 35 мг/кг). Внеклеточную регистрацию биоэлектрической активности отдельных нейронов ЛВЯ и клеток Пуркинье и микроионофорез/пневмомикроинъекцию (давление 3–10 psi; 1 psi $\approx$ 6894,76 Па) веществ осуществляли с помощью многоканальных стеклянных микроэлектродов (регистрирующий канал микроэлектрода заполняли 3 М раствором натрия хлорида; сопротивление, измеренное по постоянному току, составляло 5–10 МОм) и общепринятой микроэлектродной и регистрирующей техники. В основном оценивали спонтанную активность нейронов, анализ которой проводили с помощью аналитико-регистрирующего комплекса на базе компьютера, снабженного пакетом специализированных программ для исследования спонтанной активности. Учитывали только такое изменение спонтанной активности (угнетение или возбуждение), если оно было более 25 % по сравнению с исходным уровнем импульсации. Более подробно методика описана ранее в работе [19].

В работе использовали новые производные 3-гидроксипиридина ИБХФ-27 и СК-119, синтезированные и любезно предоставленные доктором химических наук, профессором С.Я. Скачиловой (АО «ВНЦ БАВ», РФ), мексидол (ЗАО «Фармасофт», РФ) и мелатонин (Sigma-Aldrich, США).

К отдельному нейрону сначала подводили мелатонин, а затем мексидол или новые производные 3-гидроксипиридина ИБХФ-27 и СК-119 (с помощью пневмомикроинъекции; давление 3–10 psi).

Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием программы BioStat 2009 Professional.

Проведение экспериментов одобрено Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 427 от 27 июня 2016 г.).

Результаты и обсуждение

Было обнаружено, что новые производные 3-гидроксипиридина ИБХФ-27 и СК-119 (при пневмомикроинъекции) оказывали сходное действие на спонтанную активность нейронов ЛВЯ кошек (табл. 1).

Так, ИБХФ-27 и СК-119 главным образом угнетали фоновую импульсацию нейронов (у 81,3 и 44,8 % клеток соответственно), а усиление спонтанной

активности встречалось очень редко (у 3,1 и 6,9 % клеток соответственно). Следовательно, ИБХФ-27 оказывал прямое влияние (сумма угнетающего и возбуждающего эффектов) на 84,4 % нейронов ЛВЯ кошек, что значимо ($p < 0,01$) в 1,6 раза больше, чем СК-119. Угнетающий эффект у ИБХФ-27 наблюдался в 1,8 раза чаще ($p < 0,01$), чем у СК-119. Тормозная реакция на пневмомикроинъекцию ИБХФ-27 и СК-119 встречалась соответственно в 26 и 6,5 раза чаще ($p < 0,001$), чем возбуждающая.

Лекарственные препараты мексидол и мелатонин также подавляли фоновую импульсацию нейронов ЛВЯ (у 56,2 и 55,9 % клеток соответственно), а усиление спонтанной активности встречалось довольно редко (у 9,4 и 14,7 % клеток соответственно) (табл. 1). Следовательно, мексидол и мелатонин оказывали прямое влияние на 65,6 и 70,6 % нейронов соответственно, при этом тормозная реакция на пневмомикроинъекцию препаратов встречалась соответственно в 6 и 3,8 раза чаще ($p < 0,001$), чем возбуждающая.

При сравнении с действием мексидола на нейроны ЛВЯ кошек отмечено, что угнетающий эффект у ИБХФ-27 отмечался в 1,4 раза чаще ($p < 0,05$). Следовательно, ИБХФ-27 действует более выражено, чем мексидол.

Установлено, что комбинации мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом главным образом угнетали фоновую импульсацию нейронов ЛВЯ (у 98,0; 85,7 и 86,5 % клеток соответственно) кошек, а усиление спонтанной активности либо не отмечалось (комбинация мелатонина с ИБХФ-27), либо встречалось крайне редко (у 2,0 и 2,7 % клеток соответственно для комбинаций мелатонина с СК-119 и мексидолом). Следовательно, комбинации мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом оказывают прямое влияние на 98,0; 87,7 и 89,2 % нейронов ЛВЯ соответственно; при этом тормозная реакция на пневмомикроинъекцию комбинаций мелатонина с СК-119 и мексидолом встречалась соответственно в 42 и 32 раза чаще ($p < 0,001$), чем возбуждающая.

Угнетающий эффект комбинаций мелатонина с ИБХФ-27 наблюдался в 1,2 ($p < 0,05$) и 1,8 раза ($p < 0,001$) чаще, чем у ее компонентов ИБХФ-27 и мелатонина соответственно, а также в 1,1 раза чаще ($p < 0,05$), чем у комбинаций мелатонина с СК-119 и мексидолом. Данная комбинация оказывала прямое влияние на нейроны в 1,2 ($p < 0,05$), 1,4 ($p < 0,001$) и 1,1 раза ($p < 0,05$) чаще, чем ИБХФ-27, мелатонин и комбинация мелатонина с СК-119 соответственно.

Угнетающий эффект комбинации мелатонина с СК-119 отмечался в 1,9 ($p < 0,001$) и 1,5 раза ($p < 0,01$) чаще, чем у ее компонентов СК-119 и мелатонина соответственно, а прямое влияние на нейроны соответственно в 1,7 ($p < 0,001$) и 1,2 раза ($p < 0,05$) чаще.

Таблица 1

Прямое влияние мелатонина, производных 3-гидроксипиридина и их комбинаций (при пневмомикроинъекции) на спонтанную активность нейронов латерального вестибулярного ядра кошек

Вещество	Всего нейронов	Эффект	
ИБХФ-27	32 (100 %)	Возбуждающий	1 (3,1 %)
		Угнетающий	26 (81,3 %) ^{###,α}
		Отсутствует	5 (15,6 %)
СК-119	29 (100 %)	Возбуждающий	2 (6,9 %)
		Угнетающий	13 (44,8 %)
		Отсутствует	14 (48,3 %)
Мексидол	32 (100 %)	Возбуждающий	3 (9,4 %)
		Угнетающий	18 (56,2 %)
		Отсутствует	11 (34,4 %)
Мелатонин	34 (100 %)	Возбуждающий	5 (14,7 %)
		Угнетающий	19 (55,9 %)
		Отсутствует	10 (29,4 %)
Комбинации веществ			
Мелатонин + ИБХФ-27	49 (100 %)	Возбуждающий	0 (0 %)
		Угнетающий	48 (98,0 %) ^{*,###,§,□}
		Отсутствует	1 (2,0 %)
Мелатонин + СК-119	49 (100 %)	Возбуждающий	1 (2,0 %)
		Угнетающий	42 (85,7 %) ^{###,##}
		Отсутствует	6 (12,3 %)
Мелатонин + мексидол	37 (100 %)	Возбуждающий	1 (2,7 %)
		Угнетающий	32 (86,5 %) ^{αα,##}
		Отсутствует	4 (10,8 %)

Примечание. Здесь и в табл. 2: различия с аналогичными эффектами веществ и их комбинаций статистически значимы (точный метод Фишера):
с ИБХФ-27: * – $p < 0,05$;
с СК-119: ^{##} – $p < 0,01$; ^{###} – $p < 0,001$;
с мексидолом: ^α – $p < 0,05$; ^{αα} – $p < 0,01$;
с мелатонином: ^β – $p < 0,05$; ^{ββ} – $p < 0,01$; ^{βββ} – $p < 0,001$;
с комбинацией мелатонина и СК-119: [§] – $p < 0,05$;
с комбинацией мелатонина и мексидола: [□] – $p < 0,05$.

Угнетающий эффект комбинации мелатонина с мексидолом наблюдался в 1,5 раза чаще ($p < 0,01$), чем у каждого из препаратов в отдельности, а прямое влияние на нейроны соответственно в 1,4 и 1,3 раза чаще ($p < 0,05$).

Итак, новые производные 3-гидроксипиридина ИБХФ-27 и СК-119, лекарственные препараты мексидол и мелатонин, а также комбинации мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом оказывают прямое влияние на 84,4; 51,7; 65,6; 70,6; 98,0; 87,7 и 89,2 % нейронов ЛВЯ кошек соответственно. Угнетающий эффект у ИБХФ-27 наблюдался в 1,8 и 1,4 раза чаще, чем у СК-119 и мексидола. В свою очередь, у комбинаций мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом угнетающий эффект и прямое влияние на нейроны ЛВЯ наблюдаются чаще, чем у их компонентов в отдельности. Более того, у комбинации мелатонина с ИБХФ-27 угнетающий эффект наблюдается чаще, чем у 2 других комбинаций – мелатонина с СК-119 и мексидолом, а прямое влияние на нейроны – чаще, чем у комбинации мелатонина с СК-119.

Было выявлено, что новые производные 3-гидроксипиридина ИБХФ-27 и СК-119 (при пневмомикроинъекции) оказывали сходное действие на спонтанную активность клеток Пуркинье кошек (табл. 2).

Так, ИБХФ-27 и СК-119 преимущественно угнетали фоновую импульсацию нейронов (у 78,1 и 36,7 % клеток соответственно), а усиление спонтанной активности встречалось очень редко (у 3,1 и 6,7 % клеток соответственно). Следовательно, ИБХФ-27 оказывал прямое влияние на 81,2 % клеток Пуркинье кошек, что значимо ($p < 0,01$) в 1,9 раза больше, чем СК-119. Угнетающий эффект у ИБХФ-27 наблюдался в 2,1 раза чаще ($p < 0,01$), чем у СК-119. Тормозная реакция на пневмомикроинъекцию ИБХФ-27 и СК-119 встречалась соответственно в 25 и 5,5 раза чаще ($p < 0,001$), чем возбуждающая.

Мексидол и мелатонин также подавляли фоновую импульсацию клеток Пуркинье кошек (у 59,4 и 65,6 % клеток соответственно), а усиление спонтанной активности встречалось довольно редко (у

Таблица 2

**Прямое влияние мелатонина, производных 3-гидроксипиридина и их комбинаций
(при пневмомикроинъекции) на спонтанную активность клеток Пуркинье кошек**

Вещество	Всего нейронов	Эффект	
ИБХФ-27	32 (100 %)	Возбуждающий	1 (3,1 %)
		Угнетающий	25 (78,1 %)***
		Отсутствует	6 (18,8 %)
СК-119	30 (100 %)	Возбуждающий	2 (6,7 %)
		Угнетающий	11 (36,7 %)
		Отсутствует	17 (56,6 %)
Мексидол	32 (100 %)	Возбуждающий	3 (9,4 %)
		Угнетающий	19 (59,4 %)
		Отсутствует	10 (31,2 %)
Мелатонин	32 (100 %)	Возбуждающий	5 (15,6 %)
		Угнетающий	21 (65,6 %)
		Отсутствует	6 (18,8 %)
Комбинации веществ			
Мелатонин + ИБХФ-27	46 (100 %)	Возбуждающий	0 (0 %)
		Угнетающий	45 (97,8 %) *,***,§,□
		Отсутствует	1 (2,4 %)
Мелатонин + СК-119	41 (100 %)	Возбуждающий	1 (2,4 %)
		Угнетающий	35 (85,4 %)***,β
		Отсутствует	5 (12,2 %)
Мелатонин + мексидол	36 (100 %)	Возбуждающий	1 (2,8 %)
		Угнетающий	31 (86,1 %)α,β
		Отсутствует	4 (11,1 %)

9,4 и 15,6 % клеток соответственно) (см. табл. 2). Следовательно, мексидол и мелатонин оказывали прямое влияние на 68,8 и 81,2 % нейронов соответственно. Тормозная реакция на пневмомикроинъекцию препаратов встречалась соответственно в 6,3 и 4,2 раза чаще ($p < 0,001$), чем возбуждающая.

Показано, что комбинации мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом главным образом угнетали фоновую импульсацию нейронов (у 97,8; 85,4 и 86,1 % клеток соответственно), а усиление спонтанной активности либо не отмечалось (комбинация мелатонина с ИБХФ-27), либо встречалось крайне редко (у 2,4 и 2,8 % клеток соответственно для комбинаций мелатонина с СК-119 и мексидолом). Следовательно, комбинации мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом оказывают прямое влияние на 97,8; 87,8 и 88,9 % клеток Пуркинье соответственно. Тормозная реакция на пневмомикроинъекцию комбинаций мелатонина с СК-119 и мексидолом встречалась соответственно в 35 и 31 раз чаще ($p < 0,001$), чем возбуждающая.

Угнетающий эффект комбинаций мелатонина с ИБХФ-27 наблюдался в 1,3 ($p < 0,01$) и 1,5 раза ($p < 0,001$) чаще, чем у ее компонентов ИБХФ-27 и мелатонина соответственно, а также в 1,1 раза чаще ($p < 0,05$), чем у комбинаций мелатонина с СК-119 и мексидолом соответственно. Данная комбинация

оказывала прямое влияние на нейроны в 1,2 раза чаще ($p < 0,05$), чем ИБХФ-27 и мелатонин.

Угнетающий эффект комбинации мелатонина с СК-119 отмечался в 2,3 ($p < 0,001$) и 1,3 раза ($p < 0,01$) чаще, чем у ее компонентов СК-119 и мелатонина соответственно, а прямое влияние на нейроны – в 2,0 раза чаще ($p < 0,001$), чем у СК-119.

Угнетающий эффект комбинации мелатонина с мексидолом наблюдался соответственно в 1,4 и 1,3 раза чаще ($p < 0,05$), чем у каждого из препаратов в отдельности, а прямое влияние на нейроны – в 1,3 раза чаще ($p < 0,05$), чем у мексидола.

Итак, новые производные 3-гидроксипиридина ИБХФ-27 и СК-119, лекарственные препараты мексидол и мелатонин, а также комбинации мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом оказывают прямое влияние на 81,2; 43,4; 68,8; 81,2; 97,8; 87,8 и 88,9 % клеток Пуркинье кошек соответственно. Угнетающий эффект у ИБХФ-27 отмечается в 2,1 раза чаще, чем у СК-119. В свою очередь, у комбинаций мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом угнетающий эффект наблюдается чаще, чем у их компонентов в отдельности, а прямое влияние на клетки Пуркинье у комбинации мелатонина с ИБХФ-27 чаще, чем у ее компонентов. Более того, у комбинации мелатонина с ИБХФ-27 угнетающий эффект наблюдается чаще, чем у 2 других комбинаций – мелатонина с СК-119 и мексидолом.

Наши данные косвенным образом подтверждают полученные ранее результаты. Так, например, было установлено, что у крыс комбинация мелатонина (5 мг/кг/сут) и мексидола (25 мг/кг/сут) на модели ишемического инсульта, вызванного двусторонней перевязкой общих сонных артерий, оказывала выраженное нейропротекторное действие, превосходя в этом отношении свои компоненты. На другой модели ишемии головного мозга у крыс, вызванной гравитационной перегрузкой, комбинации мелатонина (5 мг/кг/сут) с мексидолом (25 мг/кг/сут) или новым производным 3-гидроксипиридина ИБХФ-27 (25 мг/кг/сут) обладали выраженными нейропротекторными свойствами, также превосходя свои компоненты. На модели амнезии у мышей, вызванной скополамином, комбинации мелатонина (5 мг/кг) с мексидолом (25 мг/кг) или ИБХФ-27 (25 мг/кг) оказывали выраженное антиамнестическое действие и превосходили свои компоненты [9].

Таким образом, новые производные 3-гидроксипиридина ИБХФ-27 и СК-119, лекарственные препараты мексидол и мелатонин, а также комбинации мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом способны оказывать прямое влияние на нейроны ЛВЯ и клетки Пуркинье кошек. У комбинаций мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом угнетающий эффект на данные нейроны наблюдается чаще, чем у их компонентов в отдельности. Прямое влияние всех 3 комбинаций на нейроны ЛВЯ также наблюдается чаще, чем у их компонентов, а на клетки Пуркинье – только у комбинации мелатонина с ИБХФ-27. Из 3 испытанных комбинаций наиболее выражено действует комбинация мелатонина с ИБХФ-27. Следовательно, обе структуры головного мозга, а именно ЛВЯ и кора мозжечка, играют важную роль в реализации центрального действия указанных комбинаций веществ.

Выводы

1. Новые производные 3-гидроксипиридина ИБХФ-27 и СК-119, лекарственные препараты мексидол и мелатонин, а также комбинации мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом оказывают прямое влияние на большую часть нейронов латерального вестибулярного ядра кошек. Угнетающий эффект у ИБХФ-27 наблюдается в 1,8 и 1,4 раза чаще, чем у СК-119 и мексидола. У комбинаций мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом угнетающий эффект и прямое влияние на нейроны этого ядра наблюдаются чаще, чем у их компонентов в отдельности. У комбинации мелатонина с ИБХФ-27 угнетающий эффект отмечается чаще, чем у 2 других комбинаций – мелатонина с СК-119 и мексидолом, а прямое влияние на нейроны чаще, чем у комбинации мелатонина с СК-119. Эта структура головного мозга играет важную роль в реализации

центрального действия указанных комбинаций веществ.

2. ИБХФ-27, СК-119, мексидол и мелатонин, а также комбинации мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом оказывают прямое влияние на большую часть клеток Пуркинье кошек. Угнетающий эффект у ИБХФ-27 отмечается в 2,1 раза чаще, чем у СК-119. У комбинаций мелатонина с ИБХФ-27, СК-119 и мексидолом угнетающий эффект наблюдается чаще, чем у их компонентов в отдельности, а прямое влияние на клетки Пуркинье у комбинации мелатонина с ИБХФ-27 чаще, чем у ее компонентов. У комбинации мелатонина с ИБХФ-27 угнетающий эффект отмечается чаще, чем у 2 других комбинаций – мелатонина с СК-119 и мексидолом. Кора мозжечка играет важную роль в реализации центрального действия указанных комбинаций веществ.

Работа выполнена в рамках базовой темы РАН № 65.2.

Список литературы

1. Газенко О.Г., Григорьев А.И., Егоров А.Д. Космическая медицина: вчера, сегодня, завтра // Наука в России. 2006. № 4. С. 4–11.
Gazenko O.G., Grigoriev A.I., Egorov A.D. Space medicine: yesterday, today, tomorrow // Nauka v Rossii. 2006. № 4. P. 4–11.
2. Григорьев А.И. Вклад космической медицины в здравоохранение // Природа. 2012. № 1. С. 30–36.
Grigoriev A.I. Contribution of cosmic medicine to healthcare // Priroda. 2012. № 1. P. 30–36.
3. Reschke M.F., Good E.F., Clément G.R. Neurovestibular symptoms in astronauts immediately after space shuttle and international space station missions // OTO Open. 2017. V. 1. № 4:2473974X17738767.
4. Koch A., Cascorbi I., Westhofen M. et al. The neurophysiology and treatment of motion sickness // Dtsch. Arztebl. Int. 2018. V. 115. № 41. P. 687–696.
5. Rudd J.A., Chan S.W., Ngan M.P. et al. Anti-emetic action of the brain-penetrating new ghrelin agonist, HM01, alone and in combination with the 5-HT₃ antagonist, palonosetron and with the NK1 antagonist, netupitant, against cisplatin- and motion-induced emesis in Suncus murinus (house musk shrew) // Front. Pharmacol. 2018. V. 9. Art. 869.
6. Strollo F., Gentile S., Strollo G. et al. Recent progress in space physiology and aging // Front. Physiol. 2018. № 9. Art. 1551.
7. Bergstrom R.A. Motion sickness as metaphor: engaging with diversity in STEM // Adv. Physiol. Educ. 2019. V. 43. № 1. P. 1–6.
8. Яснецов В.В., Карсанова С.К., Яснецов Вик.В. Новый подход к изысканию вестибулопротекторов // Авиакосм. и экол. мед. 2015. Т. 49. № 1. С. 5–12.

Yasnetsov V.V., Karsanova S.K., Yasnetsov Vik.V. A new approach to the search for vestibuloprotectors // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2015. V. 49. № 1. P. 5–12.

9. Яснецов В.В., Карсанова С.К., Яснецов Вик.В. Исследование нейропротекторного и антиамнестического действия комбинаций мелатонина с производными 3-гидроксипиридина // *Авиакосм. и экол. мед.* 2017. Т. 51. № 2. С. 30–34.

Yasnetsov V.V., Karsanova S.K., Yasnetsov Vik.V. Studies of the neuroprotective and anti-amnestic effectiveness of the combination of melatonin with 3-hydroxypyridine derivatives // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2017. V. 51. № 2. P. 30–34.

10. Костюк П.Г. Структура и функция нисходящих систем спинного мозга. Л., 1973.

Kostyuk P.G. Structure and function of the descending systems of the spinal cord. Leningrad, 1973.

11. Voogd J. Deiters' nucleus. Its role in cerebellar ideogenesis : the Ferdinando Rossi memorial lecture // *Cerebellum*. 2016. V. 15. № 1. P. 54–66.

12. Li B., Zhang X.Y., Yang A.H. et al. Histamine increases neuronal excitability and sensitivity of the lateral vestibular nucleus and promotes motor behaviors via HCN channel coupled to H2 receptor // *Front. Cell Neurosci.* 2017. V. 10. Art. 300.

13. Jang S.H., Lee M.Y., Yeo S.S., Kwon H.G. Structural neural connectivity of the vestibular nuclei in the human brain: a diffusion tensor imaging study // *Neural. Regen. Res.* 2018. V. 13. № 4. P. 727–730.

14. Фанарджян В.В., Григорьян Р.А. Интегративные механизмы мозжечка: Руководство по физиологии. Частная физиология нервной системы. Л., 1983. С. 112–170.

Fanardzhyan V.V., Grigoryan R.A. Integrative mechanism of cerebellum: The guide to physiology. Private physiology of nervous system. Leningrad, 1983. P. 112–170.

15. Cohen B., Dai M., Yakushin S.B., Cho C. The neural basis of motion sickness // *J. Neurophysiol.* 2019. Jan. 30. DOI: 10.1152/jn.00674.2018.

16. Popa L.S., Ebner T.J. Cerebellum, predictions and errors // *Front. Cell Neurosci.* 2019. V. 12. Art. 524.

17. Sobczak-Edmans M., Lo Y.C., Hsu Y.C. et al. Cerebro-cerebellar pathways for verbal working memory // *Front. Hum. Neurosci.* 2019. V. 12. Art. 530.

18. Stay T.L., Laurens J., Sillitoe R.V., Angelaki D.E. Genetically eliminating Purkinje neuron GABAergic neurotransmission increases their response gain to vestibular motion // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2019. Feb. 5. PII: 201818819.

19. Яснецов В.В., Правдивцев В.А., Крылова И.Н. и др. Влияние ноотропов на импульсную активность нейронов коры большого мозга // *Эксперим. и клин. фармакология*. 2001. Т. 64. № 6. С. 3–6.

Yasnetsov V.V., Pravdivtsev V.A., Krylova I.N. et al. Effect of nootropic agents on impulse activity of cerebral cortex neurons // *Экспериментальная и клиническая фармакология*. 2001. V. 64. № 6. P. 3–6.

Поступила 26.02.2019

EFFECT OF MELATONIN COMBINED WITH 3-HYDROXYPYRIDINE DERIVATIVES ON NEURONS OF THE LATERAL VESTIBULAR NUCLEUS AND CEREBELLUM CORTEX IN ANIMALS

Yasnetsov Vik.V., Ivanov Yu.V., Karsanova S.K., Yasnetsov V.V.

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

Experiments with cats showed that new 3-hydroxypyridine derivatives IBKhF-27 and SK-119, drugs mexidol and melatonin, and melatonin combinations with IBKhF-27, SK-119 and mexidol influenced directly 84, 52, 66, 71, 98, 88 and 89 % neurons of the lateral vestibular nucleus (LVN) respectively. Inhibition by IBKhF-27 was observed in 1.8 and 1.4 times more often than by SK-119 + mexidol. Melatonin combined with IBKhF-27, SK-119 and mexidol inhibited and influenced LVN neurons directly more often, than each component of the combination separately. The inhibitory effect of melatonin + IBKhF-27 was observed more frequently than of two other combinations, i.e. melatonin + SK-119 and melatonin + mexidol; the direct effect on neurons was more often compared with melatonin + SK-119. Derivatives IBKhF-27, SK-119, drugs mexidol and melatonin, and melatonin + IBKhF-27, SK-119 + mexidol had direct effects on 81, 43, 69, 81, 98, 88 and 89 % Purkinje cells respectively. Besides, inhibition by IBKhF-27 was in 2.1 times more often than by SK-119. Melatonin combinations with IBKhF-27, SK-119 and mexidol inhibited more often than each of the components separately, whereas the direct effect of melatonin + IBKhF-27 on Purkinje cells was more frequent than of both of these components separately. The combination melatonin + IBKhF-27 produced the inhibitory effect more often than two other combinations, i.e. melatonin + SK-119 and melatonin + mexidol.

Key words: new 3-hydroxypyridine derivatives, mexidol, melatonin, combination, lateral vestibular nucleus, Purkinje cells, cats.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2020. V. 54. № 1. P. 69–74.

УДК 615.82;681.514;004.896

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНОГО СИМБИОЗНОГО САМОПЕРЕМЕЩАЮЩЕГОСЯ МАССАЖНОГО РОБОТА «ТРИАНГЕЛЬ» НА БОРТУ ПИЛОТИРУЕМОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Саяпин С.Н.^{1, 2}

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

E-mail: S.Sayapin@rambler.ru

В статье показана возможность применения симбиозного самоперемещающегося массажного робота «Триангель» для автоматизации проведения скользящего баночного массажа спины и груди космонавтов на борту пилотируемой космической станции. Отмечено, что робот «Триангель» способен производить массажные манипуляции на двигающемся теле независимо от его пространственной ориентации. Эти особенности робота «Триангель» позволят космонавтам выполнять запланированную работу непосредственно в процессе проведения скользящего баночного массажа. Представлен полномасштабный пневматический прототип робота «Триангель», демонстрирующий его заявленные возможности.

Ключевые слова: симбиозные массажные роботы, параллельные механизмы, скользящий баночный массаж, космическая робототехника.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 75–78.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-75-78

Массаж эффективно применяется с древних времен и в настоящее время считается одним из самых эффективных немедикаментозных методов лечения и профилактики травм и заболеваний. Для массажа спины и грудной клетки широко применяется скользящий баночный массаж (СБМ), сочетающий в себе воздействующие факторы вакуумных банок и массажа. Вакуумные банки могут устанавливаться на теле пациента как неподвижно, так и с возможностью совершения скользящих массажных движений ими без их разгерметизации и отрыва от тела [1]. Очевидная простота и эффективность СБМ делают его привлекательным на борту космической станции в условиях длительного воздействия невесомости на организм космонавтов. Однако при этом неизбежно возникают следующие проблемы:

– невозможность проведения СБМ, особенно спины, без непосредственного участия второго космонавта. При этом в процессе проведения СБМ требуется независимая фиксация обоих космонавтов к жестким элементам конструкции внутри космической станции;

– на время проведения СБМ 2 члена экипажа будут отвлечены от выполнения работ, регламентированных программой;

– невозможность проведения СБМ «вслепую», например под футболкой, т.е. СБМ должен проводиться при голом торсе, что может вызывать дискомфорт у космонавта.

В работе [2] рассмотрены возможности использования в пилотируемых полетах бортовых медицинских роботов, способных обеспечить большую автономность работы экипажа от наземных служб и специалистов. Опирается следует на существующие наземные прототипы медицинских роботов, применяемых в авиации, космонавтике, спорте и других областях. В работах [3, 4] представлена новая концепция многофункционального самоперемещающегося баночного массажера – робота «Триангель», предназначенного для проведения автономного СБМ на спине и груди пациента. При этом не требуется присутствие массажиста, а управление массажером может быть программным или через Интернет. Проведение СБМ с помощью робота «Триангель» возможно при движениях пациента и не зависит от его пространственного положения. Показана возможность проведения СБМ на борту космической станции с помощью робота «Триангель», построенного на основе симбиозного подхода. Ниже представлены новый симбиозный подход к организации СБМ на борту космической станции с помощью робота «Триангель» и его пневматический прототип.

Описание и принцип работы робота «Триангель»

Суть симбиозного подхода к созданию робота «Триангель» для СБМ заключается в его объединении с телом с единой системой координат и обеспечении независимого функционирования робота «Триангель» и космонавта в процессе проведения СБМ. Благодаря симбиозному подходу космонавт может осуществлять регламентные и другие работы, а также выполнять физиологические потребности в процессе проведения СБМ.

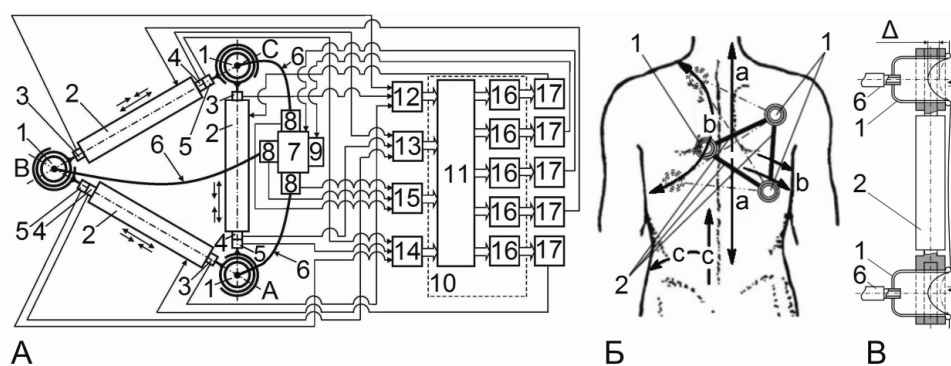


Рис. 1. Структурная схема робота «Триангель» (А), схема установки вакуумных банок на спине пользователя и проведения СБМ (Б), схемы локального вакуум-массажа и массажа сдвиганием и растяжением мышц (В)

Массажное устройство робота «Триангель» выполнено в виде параллельного робота активного шарнирного треугольного модуля ABC (далее – модуль ABC) с вакуумными банками 1 при вершинах (рис. 1, А) [3, 4]. Треугольная стержневая структура робота «Триангель» имеет 3DOF (degrees of freedom) и обеспечивает ему геометрическую неизменяемость и работу стержней только на растяжение/сжатие и как следствие высокую жесткость и низкую удельную массу. Каждый из стержней модуля ABC снабжен линейным приводом 2 с датчиками силы 3, относительного перемещения 4 и относительной скорости 5. Вакуумные банки 1 герметично соединены гибкими шлангами 6 с соответствующими каналами воздухораспределителя 7. Воздухораспределитель 7 снабжен датчиками давления 8 и вакуумным насосом 9, которые электрически связаны с системой управления 10 в виде компьютера 11 с аналого-цифровыми и цифроаналоговыми преобразователями (АЦП и ЦАП). Входы системы управления 10 через шины данных АЦП подключены к выходам АЦП 12, 13, 14, 15 датчиков силы 3, датчиков относительного перемещения 4, датчиков относительной скорости 5 и датчиков давления 8 соответственно. Выходы системы управления 10 через шины выходных данных ЦАП 16 подключены к входам последовательно соединенных усилителей мощности 17 и линейных приводов 2, клапанов воздухораспределителя 7 и вакуумного насоса 9. Система управления 10 обеспечивает оперативный контроль и управление в режиме реального времени.

Модуль ABC космонавт накладывает на подготовленную поверхность тела и фиксирует его путем вакуумирования вакуумных банок 1 (см. рис. 1, Б). После фиксации модуля ABC на теле космонавта образуется симбиоз космонавт – робот «Триангель», симбионты которого могут продолжать функционировать независимо друг от друга. Полученный на борту космической станции симбиоз сохраняется независимо от движений космонавта и его

пространственной ориентации. Давление в вакуумных банках 1 регулируется с помощью воздухораспределителя 7, датчиков давления 8 и вакуумного насоса 9 по командам от системы управления 10 таким образом, чтобы 2 вакуумные банки 1 герметично фиксировались на спине неподвижно, а 3-я – подвижно. Далее осуществляют ввод в систему управления 10 индивидуальных данных космонавта, которые включают контуры массируемых участков тела, связанные с базовой системой координат симбиоза, координаты участков тела, недопустимые для СБМ, и координаты центров 2 неперемещаемых вакуумных банок 1.

На рис. 1, Б показана схема установки робота «Триангель» на спине (Б) и проведения СБМ при различных заболеваниях: а – остеохондрозе позвоночника и люмбаго; б – пневмониях и бронхитах; с – миозитах и пояснично-крестцовом радикулите [1, 3, 4]. Геометрическая неизменяемость модуля ABC позволяет определять координаты его вершин и управлять их перемещениями путем измерения с помощью датчиков относительных перемещений 4 длин всех стержней. Все вакуумные банки 1 в процессе СБМ поочередно становятся перемещаемыми и неперемещаемыми. С помощью робота «Триангель» можно производить локальный вакуум-массаж и массаж сдвиганием и растяжением мышечных тканей (см. рис. 1, В) [1, 3, 4]. Для повышения комфортности поверх тела с роботом «Триангель» может быть надета футболка.

Макетная апробация робота «Триангель»

Для определения кинематических и динамических параметров робота «Триангель» в ИМАШ РАН изготовлен и испытан его полномасштабный пневматический прототип в виде треугольного механизма параллельной структуры с 3 DOF (рис. 2, А), выполненный на основе шприцев одноразовых трехкомпонентных объемом 60 мл. Шприцы использовались в качестве пневматических линейных приводов и вакуумных насосов, а корпуса шприцев

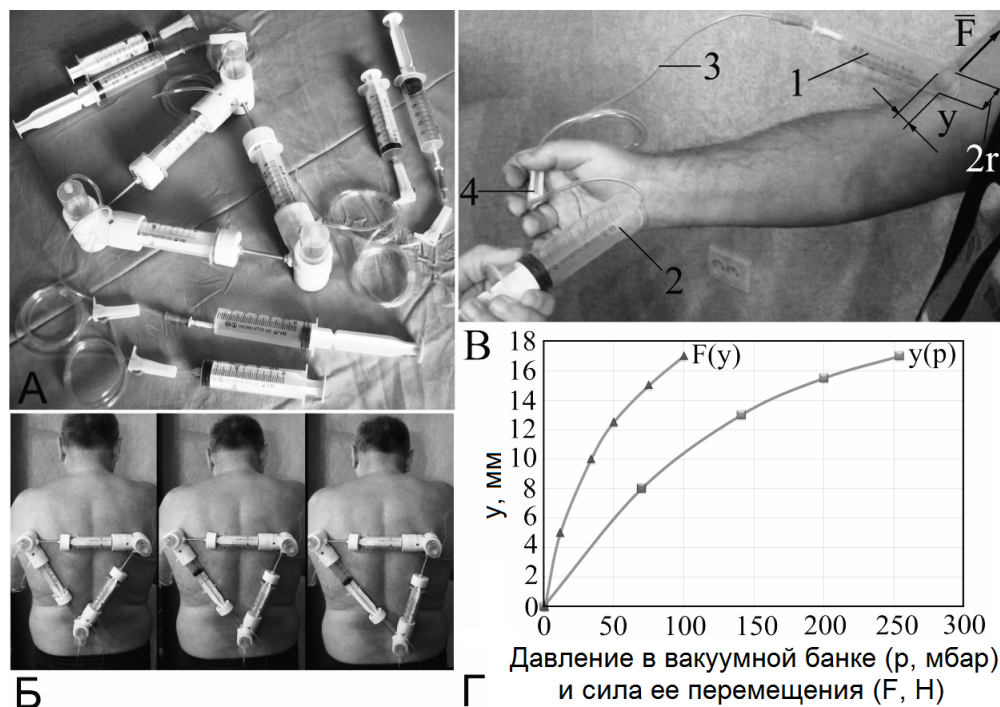


Рис. 2. Пневматические прототипы робота «Триангель» и вакуумной банки, результаты экспериментов: А – общий вид; Б – фотографии перемещения вакуумных банок по спине в ходе апробации устройства; В – установка вакуумной банки на поверхности кожи; Г – экспериментальные зависимости между (y) и (p), F и y

– в качестве вакуумных банок. В качестве соединительных гибких шлангов использовались эластичные трубки с роликовыми зажимами от стандартных инфузионных систем.

При макетной апробации робота «Триангель» был проведен СБМ, включающий отсос воздуха из вакуумных банок и вертикальное перемещение пневматического прототипа робота «Триангель» по массируемой спине (см. рис. 2, Б). Пневматический прототип вакуумной банки по геометрическим размерам соответствовал реальной вакуумной банке. На рисунке 2, В изображен прототип вакуумной банки диаметром $2r$, содержащий корпус шприца 1, герметично соединенный со шприцем 2 эластичной трубкой 3 с роликовым зажимом 4. При отсосе воздуха из прототипа вакуумной банки происходило втягивание кожи испытуемого на величину y (см. рис. 2, В). С помощью динамометра ДПУ-0,1-2 (ГОСТ 13837-79) измерялось усилие F перемещения прототипа вакуумной банки при различных значениях ее вакуумирования и соответствующие им величины втягивания y . На рис. 2, Г показаны полученные экспериментальные зависимости между (y) и (p), (F) и (y). Давление внутри прототипа вакуумной банки (p) рассчитывалось по закону Бойля – Мариотта:

$$p_i V_i = p_f V_f$$

где индексы i и f соответствуют начальному (перед вакуумированием $p_i = 1000$ мбар) и конечному (после вакуумирования) положениям и измеренным объемам корпуса шприца 1 (прототип вакуумной банки, 60 мл) с эластичной трубкой 3 (3,18 мл) и корпусом шприца 2 (60 мл) (камера вакуумного насоса), которые соответствуют объему втянутой кожи (V_{BK}). Объем втянутой кожи (см. рис. 2, В) рассчитывался как объем шарового сегмента ($V_{BK} = \pi y^2 (3r - y) / 3$), что вполне приемлемо при используемом разрежении воздуха внутри вакуумной банки при проведении СБМ.

Проверка показала правильность выбранной концепции робота «Триангель» в виде плоского механизма параллельной структуры с 3 DOF. С помощью пневматического прототипа робота «Триангель» продемонстрирована реальная возможность проведения СБМ, а также локального вакуум-массажа и массажа сдвиганием и растяжением мышечных тканей независимо от движений тела и его пространственного положения. Также проведенные исследования позволили определить геометрические параметры вакуумной банки, требуемые величины разрежения воздуха внутри вакуумной банки и усилия линейных приводов робота «Триангель» необходимые для перемещения вакуумных банок при проведении СБМ. Управление линейными приводами и вакуумным насосом пневматического прототипа робота «Триангель» осуществлялось вручную.

Выводы

1. Заявлен симбиозный подход к созданию робота «Триангель», который позволит автоматизировать процессы СБМ, локального вакуум-массажа и массажа сдвиганием и растяжением мышечных тканей спины и груди космонавта на борту космической станции независимо от пространственного положения тела и его движений. Космонавты в процессе проведения данных типов массажа могут выполнять запланированные работы.

2. При подключении системы управления к сети Интернет может быть организована on-line-связь робота «Триангель» и космонавта с профессиональным массажистом наземной службы для оперативного контроля за проведением массажа и принятия решений при возникновении нештатных ситуаций. Один массажист наземной службы сможет одновременно и дистанционно обслуживать группу космонавтов на борту космической станции.

3. Дополнительно в вершинах активного треугольного модуля АВС робота «Триангель» возможна установка ультразвуковых и других датчиков, которые позволят расширить его функциональные возможности.

4. В перспективе робот «Триангель» может использоваться в составе медицинских робототехнических комплексов и средств, предназначенных для обслуживания участников длительных лунных и марсианских экспедиций.

Список литературы

1. Дубровский В.И., Дубровская А.В. Лечебный массаж. М., 2004.

Dubrovsky V.I., Dubrovskaya A.V. Therapeutic massage. Moscow, 2004.

2. Ушаков И.Б., Карпов А.А., Крючков Б.И., Поляков А.В., Усов В.М. Перспективные решения в области медицинской робототехники для поддержки жизнедеятельности экипажа и снижения медицинских рисков в космическом полете // Авиакосм. и экол. мед. 2015. Т. 49. № 6. С. 76–83.

Ushakov I.B., Karpov A.A., Kryuchkov B.I., Polyakov A.V., Usov V.M. Promising options for medical robotics application support of crew life activities and mitigation of medical risks

during space flight // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2015. V. 49. № 6. P. 76–83.

3. Саяпин С.Н., Саяпина М.С. Перемещающийся массажер и способ осуществления массажа с его помощью. Патент РФ на изобретение № 2551939. Опубл. 10.06.2015. Бюллетень № 16.

Sayapin S.N., Sayapina M.S. Mobile massager and a method of massage using it. Russian Federation Patent № 2551939. Publ. 10.06.2015. Bulletin № 16.

4. Саяпин С.Н., Саяпина М.С. Самоперемещающийся многофункциональный вакуумный массажер на базе активного треугольного модуля параллельной структуры // Медицинская техника. 2017. № 2. С. 52–55.

Sayapin S.N., Sayapina M.S. A self-driven multifunctional vacuum massager based on an active triangular module of parallel structure // Meditsinskaya tekhnika. 2017. № 2. P. 52–55.

Поступила 08.04.2019

ANALYSIS AND PROSPECTIVE USE OF AUTONOMOUS SYMBIOTIC SELF-RELOCATING BODY MASSAGE ROBOT «TRIANGEL» ONBOARD PILOTED SPACE STATIONS

Sayapin S.N.^{1, 2}

¹Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

²Bauman Moscow State Technical University

The paper presents symbiotic self-relocating body massage robot «TRIANGEL» proposed for automated sliding cupping glass massage of the cosmonaut's back and chest onboard a space station. Robot «TRIANGEL» is capable to massage a moving body irrespective of its position that is, in other words, a cosmonaut does not need to interrupt assigned activities. The declared capabilities have been demonstrated with a full-scale pneumatic prototype of the robot.

Key words: symbiotic body massage robots, parallel mechanisms, sliding cupping glass massage, space robotics.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2020. V. 54. № 1. P. 75–78.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 616.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ТКАНЕЙ ПАРОДОНТА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ФАКТОРА НЕВЕСОМОСТИ

Ильин В.К., Рыкова М.П., Антропова Е.Н., Соловьева З.О., Носовский А.М.

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

E-mail: soloviova@imbp.ru

Проведено определение содержания иммуноглобулинов (sIgA, IgA, IgM) и цитокинов (IL-6, IL-8, IL-1 β , INF γ , TNFa, IL-4) в ротовой жидкости у 6 мужчин-добровольцев в возрасте от 19 до 26 лет, находившихся в условиях 5-суточной «сухой» иммерсии. Выявлена тенденция к увеличению содержания sIgA и достоверное увеличение содержания IgA ($p < 0,05$) на 7-е сутки периода восстановления по сравнению с 5-ми сутками экспериментального воздействия. Показано, что пребывание в «сухой» иммерсии сопровождается изменениями цитокинового профиля, проявляющимися в увеличении пула провоспалительных цитокинов (IL-8, IL-1 β , INF γ), т. е. наблюдается провоспалительный цитокиновый сдвиг. Исследование показало предрасположенность тканей пародонта обследуемых в условиях «сухой» иммерсии к развитию воспалительных заболеваний и снижение барьерных функций пародонта.

Ключевые слова: пародонт, местный иммунитет, иммуноглобулины, цитокины, микрогравитация.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 79–83.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-79-83

Накопленный опыт осуществления космических полетов (КП) показывает, что по мере увеличения длительности полета значение комплексного подхода в исследовании изменений зубочелюстной системы приобретает большую актуальность. Возможность развития неблагоприятных изменений в тканях пародонта членов экипажей в условиях КП была подтверждена при исследованиях в рамках космического эксперимента «Пародонт» и модельных экспериментов (60- и 120-суточная антиортостатическая гипокинезия). Показано, что по завершении КП происходят существенные изменения микрофлоры тканей пародонта и местного иммунитета у космонавтов. В условиях модельных экспериментов выявлено увеличение концентрации иммуноглобулинов (sIgA, IgA, IgG) в слюнной жидкости, появление пародонтопатогенной микрофлоры при исчезновении нормальной, нарушение показателей системы микроциркуляторного русла (МЦР) тканей

пародонта. Данные изменения свидетельствуют о напряжении общего иммунитета, а в сочетании с ростом патогенной микрофлоры и о снижении местного иммунитета [1].

Роль микрофлоры в инициации заболеваний пародонта очевидна, однако выраженность воспалительной реакции в значительной мере определяется возможностями макроорганизма противостоять его микрофлоре. Большая роль в патогенезе воспалительных заболеваний пародонта отводится состоянию местных и общих факторов, специфической и неспецифической резистентности [2–6]. Поскольку состояние микробиоценоза тканей организма, в том числе ротовой полости, и реализация воспалительных реакций определяются иммунным гомеостазом, с одной стороны, и адаптивными возможностями микроорганизмов – с другой, то рассматривать воспаление в отрыве от иммунной системы нелогично и, по сути, неправильно [7–10].

Ротовая жидкость содержит компоненты, определяющие ее защитную функцию, – это ферменты, составляющие системы комплемента, иммуноглобулины. Ее состав играет большую роль в функционировании не только ротовой полости, но и организма в целом, являясь одним из индикаторов гомеостаза, обладающим колоссальной информативностью. Среди различных иммунологических показателей ротовой жидкости особое место занимает определение sIgA. Содержание sIgA в эпицентре воспалительного процесса отражает микробную нагрузку на ткани пародонта и может служить объективным инструментом для оценки состояния его тканей и проводимой терапии. Полагают, что снижение и дефицит IgA лежат в основе развития многих хронических воспалительных заболеваний слизистых оболочек, в то время как секреторный IgA защищает слизистые полости рта, блокирует их взаимодействие с патогенными микроорганизмами, тем самым снижая вероятность их проникновения во внутреннюю среду организма [11]. Учитывая, что постоянное присутствие микроорганизмов побуждает клетки к усилению секреции провоспалительных цитокинов

[8–10], в последние годы в ротовой жидкости, помимо иммуноглобулинового, ферментного и других профилей, определяется цитокиновый профиль, который отражает резистентность тканей ротовой полости к различным воздействиям, а также косвенно свидетельствует об активности иммунокомпетентных клеток в них. Как известно, важнейшая функция системы цитокинов – защита от инфекционных агентов и восстановление поврежденных тканей [12–14]. Для большинства цитокинов характерен индуцибельный тип экспрессии генов. Поэтому они практически не синтезируются клетками в отсутствие воспалительной реакции и иммунного ответа. В связи с этим измерение содержания цитокинов ткани ротовой полости, которая у здорового человека характеризуется определенным балансом провоспалительных и противовоспалительных цитокинов, определяющих активность иммунокомпетентных клеток на микробные антигены, находящиеся в них, – это одна из потенциальных возможностей неинвазивной оценки воспалительных реакций.

Значительный прогресс в понимании механизмов изменений в структуре и функции различных звеньев и систем организма в условиях меняющихся гравитационных воздействий оказался возможным благодаря развитию широких программ наземных модельных исследований, в первую очередь иммерсионной модели [15]. Проведенные в условиях «сухой» иммерсии исследования выявили негативные сдвиги в функционировании нейроэндокринной, иммунной, метаболической и сердечно-сосудистой систем, а также постепенное повышение устойчивости микрофлоры к наиболее широко применяемым препаратам, которые могут оказывать неблагоприятное влияние на пародонт [16, 17].

Целью данной работы являлась оценка концентрации иммуноглобулинов (sIgA, IgA, IgM) и цитокинов (IL-6, IL-8, IL-1 β , INF γ , TNF α , IL-4) в ротовой жидкости в условиях, моделирующих эффекты микрогравитации (5-суточная «сухая» иммерсия).

Методика

Исследования проведены с участием 6 практически здоровых мужчин в возрасте от 19 до 26 лет, получивших допуск врачебно-экспертной комиссии и подписавших Информированное согласие на участие в эксперименте в соответствии с Хельсинкской декларацией. Программа эксперимента была одобрена Комиссией по биомедицинской этике при ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 432 от 15.09.2016 г.). По программе исследований [18], испытуемые-добровольцы в течение 5 сут находились в иммерсионной ванне размером 256 x 148 x 110 см, наполненной водой, температура которой постоянно поддерживалась на уровне 32–34 °C. Исследования проводили на 1-е сутки

(фон), на 5-е сутки иммерсии (выход) и на 7-е сутки периода восстановления (ПВ). Все исследования выполнялись натощак, перед чисткой зубов. Взятие проб проводилось локально из 8 точек с помощью стандартных стерильных ватных тампонов, которые прикладывались на 2 мин к месту отбора проб. Отбор десневой жидкости производился между 1 и 2 резцами справа на верхней и нижней челюсти снаружи и внутри, между 1 и 2 резцами слева на верхней и нижней челюсти снаружи и внутри. Эта операция безболезненна и не травматична.

Концентрацию иммуноглобулинов (sIgA, IgA, IgM) и цитокинов (IL-6, IL-8, IL-1 β , INF γ , TNF α , IL-4) в ротовой жидкости определяли методом иммуноферментного анализа (ИФА) с помощью соответствующих наборов реагентов ЗАО «Вектор-Бест». Для статистической обработки результатов исследований использовали научно-статистический пакет Statistica v6.0.

Результаты и обсуждение

Результаты проведенных исследований показали, что на 5-е сутки пребывания добровольцев в условиях экспериментального воздействия не было выявлено существенных изменений содержания изученных иммуноглобулинов в ротовой жидкости. Однако на 7-е сутки по окончании «сухой» иммерсии были отмечены тенденция роста sIgA и увеличение в 2 раза IgA ($p < 0,05$) по сравнению с выходом (табл. 1). Концентрация IL-8 на выходе увеличивалась по сравнению с входом в 3 раза ($p < 0,05$). Анализ содержания INF γ позволил установить тенденцию к росту этого показателя: повышение в 1,3 раза на 5-е сутки иммерсии ($p < 0,05$), а на 7-е сутки периода восстановления в 2,5 раза ($p < 0,05$) по сравнению с входом (табл. 2).

Имуноглобулины sIgA, IgA, IgM показывают присутствие воспаления. Так, например, IgM у лиц с интактным пародонтом фактически отсутствует, а снижение уровня IgA в десневой жидкости, по всей видимости, отражает состояние иммунорегуляторных функций организма и является неблагоприятным при значительной продолжительности воспалительного процесса [8]. Состояние иммунологической резистентности в полости рта отражает в основном содержание sIgA, определение которого в ротовой жидкости является важным показателем противомикробной защиты. Можно предположить, что увеличение sIgA связано с появлением пародонтопатогенной микрофлоры в ротовой полости в ходе эксперимента.

Основную долю в общем содержании иммуноглобулинов в ротовой жидкости обследуемых составляли sIgA и IgA (табл. 3).

Основной вклад в общий пул цитокинов вносили провоспалительные цитокины (IL-8, IL-1 β , INF γ)

Таблица 1

Содержание иммуноглобулинов в ротовой жидкости испытуемых-добровольцев в условиях «сухой» иммерсии

Сроки отбора проб	Концентрация иммуноглобулинов г/л		
	sIgA	IgA	IgM
Фон (-1-е сутки)	0,069 ± 0,016	0,052 ± 0,007	0,001 ± 0,0002
5-е сутки «сухой» иммерсии	0,060 ± 0,010	0,034 ± 0,006*	0,002 ± 0,0005
7-е сутки периода восстановления	0,083 ± 0,013	0,074 ± 0,012	0,002 ± 0,0004

Примечание. * – статистически значимые различия по сравнению с соответствующим показателем 7-х суток (p < 0,05).

Таблица 2

Содержание цитокинов в ротовой жидкости испытуемых-добровольцев в условиях «сухой» иммерсии

Сроки отбора проб	Концентрация цитокинов, пкг/мл					
	IL-8	IL-6	INFγ	TNFα	IL-1β	IL-4
Фон (-1-е сутки)	330,13 ± 72,28	1,49 ± 0,58	278,72 ± 68,30*	58,24 ± 5,17	489,38 ± 83,70	51,65 ± 16,37
5-е сутки «сухой» иммерсии	982,00 ± 212,29*,#	1,57 ± 1,40	369,36 ± 120,23	69,73 ± 18,35	588,61 ± 100,81	99,95 ± 25,29
7-е сутки периода восстановления	470,41 ± 91,32	1,01 ± 0,63	722,05 ± 327,20	76,10 ± 11,49	912,26 ± 423,03	101,83 ± 39,81

Примечание. * – статистически значимые различия по сравнению с соответствующим показателем 1-х суток для IL-8 и 1-х суток по сравнению с 7-ми для INFγ (p<0,05); # – статистически значимые различия по сравнению с соответствующим показателем 7-х суток (p < 0,05).

Таблица 3

Относительное содержание иммуноглобулинов в ротовой жидкости испытуемых-добровольцев в % от общего количества

Сроки отбора проб	% от общего количества		
	sIgA	IgA	IgM
1-е сутки	56,6	42,3	1,0
5-е сутки	62,6	35,5	1,9
7-е сутки	52,0	46,6	1,4

Таблица 4

Относительное содержание цитокинов в ротовой жидкости испытуемых-добровольцев в % от общего количества

Сроки отбора проб	% от общего количества					
	IL-8	IL-6	INFγ	TNFα	IL-1β	IL-4
1-е сутки	27,3	0,1	23,0	4,8	40,5	4,3
5-е сутки	46,5	0,1	17,5	3,3	27,9	4,7
7-е сутки	20,6	0,0	31,6	3,3	39,9	4,5

(табл. 4). Низкую долю в общем содержании цитокинов в ротовой жидкости обследуемых составляли IL-4 (противовоспалительный цитокин), что является неблагоприятным фактором, так как при оптимальном состоянии иммунитета полости рта его уровень в десневой жидкости повышен.

На основании полученных данных можно предположить, что появление пародонтопатогенной микрофлоры привело к увеличению концентрации sIgA и противовоспалительных цитокинов.

Выводы

1. Выявленные изменения местного иммунитета отражают состояние защитных механизмов тканей пародонта и возможность активации воспалительных процессов.
2. Измерение концентрации цитокинов в ротовой жидкости позволяет проводить мониторинг лечения, подбирать пациентам из обширного перечня используемых лекарственных средств индивидуальную терапию, что повышает ее эффективность.

Работа выполнена в рамках тем СЧ ОКР «МКС (Наука)» ИМБП, 64.2, 65.1. ФНИ РАН.

Список литературы

1. Ильин В.К., Воложин А.И., Виха Г.В. Колонизационная резистентность организма в измененных условиях обитания. М., 2005.
1. Il'yin V.K., Volozhin A.I., Vikha G.V. Colonization resistance of an organism in altered living conditions. Moscow, 2005.
2. Воложин А.И., Порядин Г.В. Патологическая физиология. М., 2006.
2. Volozhin A.I., Poryadin G.V. Pathological physiology. Moscow, 2006.
3. Кулаков А.А., Зорина О.А., Борискина О.А. Роль защитных факторов организма в патогенезе воспалительных заболеваний пародонта // Стоматология. 2010. № 6. С. 72–77.
3. Kulakov A.A., Zorina O.A., Boriskina O.A. The role of protective factors of the body in the pathogenesis of inflammatory periodontal diseases // Stomatologiya. 2010. № 6. P. 72–77.
4. Соловьева А.М., Матело С.К., Тотолян А.А. и др. Эпидемиологическое исследование распространенности пародонтопатогенной микрофлоры полости рта у населения России // Стоматология. 2005. № 5. С. 14–20.
4. Solov'eva A.M., Matelo S.K., Totolyan A.A. et al. Epidemiological study of the prevalence of periodontal disease microflora in the Russian population // Stomatologiya. 2005. № 5. P. 14–20.
5. Ярцев М.Н., Яковлева К.П., Плахотиенко М.В. Иммунодефицитные состояния и иммунокомпromетированный пациент // Рос. мед. журнал. 2008. № 2. С. 44–50.
5. Yartsev M.N., Yakovleva K.P., Plakhotienko M.V. Immunodeficiency and immunocompromised patient // Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal. 2008. № 2. P. 44–50.
6. Akira S., Takeda K. Toll-like receptors in innate immunity // Immunol. 2005. V. 17. P. 1–14.
7. Безрукова И.В. Быстро прогрессирующий пародонтит. М., 2004.
7. Bezrukova I.V. Rapidly progressive periodontitis. Moscow, 2004.
8. Мартынова Е.А., Макеева И.М., Рожнова Е.В. Полость рта как локальная экологическая система // Стоматология. 2008. № 3. С. 68–75.
8. Martynova E.A., Makeeva I.M., Rozhnova E.V. Oral cavity as a local ecological system // Stomatologiya. 2008. № 3. P. 68–75.
9. Симбирцев А.С. Цитокины – новая система регуляции защитных реакций организма // Цитокины и воспаление. 2002. № 1. С. 9–17.
9. Simbirtsev A.S. Cytokines – a new system for regulating the body's defenses // Tsitokiny i vospalenie. 2002. № 1. P. 9–17.
10. Eriksen Y., Dimitrov V., Rohlin M. et al. The oral ecosystem: implications for education // J. Dent. Educ. 2006. V. 10. № 4. P. 192–196.
11. Локтионов А.Л., Конопля А.И., Лунев М.А., Караулов А.В. Иммунные и оксидантные нарушения в патогенезе воспалительных заболеваний пародонта // Иммунология. 2015. Т. 36. № 5. С. 319–328.
11. Loktionov A.L., Konoplya A.I., Lunev M.A., Karaulov A.V. Immune and oxidative disorders in the pathogenesis of inflammatory periodontal diseases // Immunologiya. 2015. V. 36. № 5. P. 319–328.
12. Карзакова Л.М., Сидоров И.А., Волков А.Н., Сидоров О.А. и др. // Иммунопатология и клиническая иммунология. 2013. № 3. С. 155–158.
12. Karzakova L.M., Sidorov I.A., Volkov A.N., Sidorov O.A. et al. // Immunopatologiya i klinicheskaya immunologiya. 2013. № 3. P. 155–158.
13. Кетлинский С.А., Симбирцев А.С. Цитокины. М., 2008.
13. Ketlinskii S.A., Simbirtsev A.S. Cytokines. Moscow. 2008. P. 552.
14. Царев В.Н., Николаева В.Н. Аллельный полиморфизм генов ИЛ-1 α и ИЛ-1 β у больных с хроническими воспалительными заболеваниями пародонта // Вестник РАМН. 2007. № 3. С. 43–47.
14. Tsarev V.N., Nikolaeva V.N. Allelic polymorphism of the IL-1 α and IL-1 β genes in patients with chronic inflammatory periodontal diseases // Vestnik RAMN. 2007. № 3. P. 43–47.
15. Kozlovskaya I. et al. Gravitational mechanisms in the motor system. Studies in real and simulated weightlessness // Stance and Motion. 1988. P. 37–48.
16. Иванов В.С. Заболевания пародонта. М., 2001.
16. Ivanov V.C. Periodontal disease. Moscow, 2001.
17. Цепов Л.М., Голева Н.А. Роль микрофлоры в возникновении воспалительных заболеваний пародонта // Пародонтология. 2009. № 1. С. 7–12.
17. Tsepov L.M., Goleva N.A. The role of microflora in the occurrence of inflammatory periodontal diseases // Parodontologiya. 2009. № 1. P. 7–12.
18. Томиловская Е.С. Эксперимент с 5-суточной иммерсией: задачи, объем, структура исследований, особенности методических подходов // Авиакосм. и экол. мед. 2011. Т. 45. № 6. С. 3–7.
18. Tomilovskaya E.S. An experiment with 5-day immersion: tasks, volume, research structure, features of methodological approaches // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2011. V. 45. № 6. P. 3–7.

Поступила 22.10.2019

INVESTIGATION OF PARODONTIUM TISSUE DURING MICROGRAVITY FACTOR MODELLING

Ilyin V.K., Rykova M.P., Antropova E.N., Solovieva Z.O., Nosovsky A.M.

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

Concentrations of immunoglobulins (sIgA, IgA, IgM) and cytokines (IL-6, IL-8, IL-1 β , INF γ , TNF α , IL-4) were measured in oral liquid sampled from 6 male subjects at the age of 19 to 26 years volunteered for a 5-day dry immersion study.

Analyses showed an upward trend in sIgA and a reliable increase in IgA ($p < 0.05$) on day 7 of recovery in comparison to day 5 of the study. It was found that exposure in dry immersion alters the cytokine profile increasing the pool of proinflammatory cytokines (IL-8, IL-1 β , INF γ), or induces a proinflammatory shift in cytokines. The investigation pointed to susceptibility of the parodontium tissue to inflammatory diseases and weakening of the parodontium barrier functions in the conditions of dry immersion.

Key words: parodontium, local immunity, immunoglobulins, cytokines, microgravity.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2020. V. 54. № 1. P. 79–83.

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

УДК 613.693

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПИЛОТИРУЕМОГО ОСВОЕНИЯ ДАЛЬНЕГО КОСМОСА (ПО МАТЕРИАЛАМ 22-ГО СИМПОЗИУМА МЕЖДУНАРОДНОЙ АКАДЕМИИ АСТРОНАВТИКИ «ЧЕЛОВЕК В КОСМОСЕ»)

Фомина Е.В., Куссмауль А.Р., Белаковский М.С.

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

E-mail: kussmaul@imbp.ru

Пилотируемое освоение дальнего космоса может быть успешно реализовано только при кооперации ученых и специалистов разных стран. Симпозиум «Человек в космосе», регулярно проводимый космическими агентствами и организациями разных стран под эгидой Международной академии астронавтики (IAA), уже много лет выступает в качестве платформы для плодотворного обсуждения фундаментальных проблем и практических вопросов, обмена результатами исследований и идеями в космической биологии и медицине. С 11 по 14 ноября 2019 г. в г. Дубай состоялся 22-й Симпозиум «Человек в космосе», в работе которого приняли участие более 300 специалистов из 17 стран. Научная программа заседаний включала 5 пленарных сессий, 5 «круглых столов» и 13 специальных сессий, охвативших практически все медико-биологические проблемы пилотируемых полетов. Было представлено 96 докладов, 36 из которых подготовлены сотрудниками Института медико-биологических проблем. 22-й Симпозиум «Человек в космосе» послужил еще одной значимой вехой на пути пилотируемого освоения дальнего космоса.

Ключевые слова: космическая медицина и биология, медико-биологическое обеспечение космических полетов, международная кооперация.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 1. С. 84–91.

DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-84-91

Опыт подготовки и проведения космических полетов на протяжении более чем полувека показал, что пилотируемое освоение дальнего космоса может быть реализовано лишь в тесной кооперации ученых и специалистов разных стран как лидеров в области пилотируемой космонавтики, так и новых стран-участников, впервые реализующих исследования в области космической биологии и медицины. Площадками для плодотворного обсуждения фундаментальных проблем и практических вопросов, обмена результатами исследований и новыми идеями в этой отрасли выступают международные конференции. Одна из таких площадок – Симпозиум

«Человек в космосе», регулярно проводимый космическими агентствами и организациями разных стран под эгидой Международной академии астронавтики (IAA).

С 11 по 14 ноября 2019 года в г. Дубай состоялся уже 22-й Симпозиум «Человек в космосе», в работе которого приняли участие более 300 специалистов из 17 стран.

Сотрудники Института медико-биологических проблем (далее – ИМБП) традиционно внесли значительный вклад в подготовку и проведение этого мероприятия. Почетными вице-председателями Симпозиума стали О.И. Орлов и Е.В. Фомина, вице-председателем – О.В. Котов. Ведущие специалисты ИМБП по основным направлениям исследований М.С. Белаковский, В.И. Гущин, С.А. Пономарев, А.В. Суворов, Е.С. Томиловская вошли в научный комитет Симпозиума, отобравший для пленарных и научных сессий 96 докладов, 36 из которых были подготовлены сотрудниками Института.

В церемонии открытия Симпозиума приняли участие генеральный директор Космического центра имени Мухаммеда бин Рашида (MBRSC) Y.H. Al Shaibani, генеральный секретарь IAA J.-M. Contant, президент Национального центра космических исследований Франции (CNES) J.-Y. Le Gall.

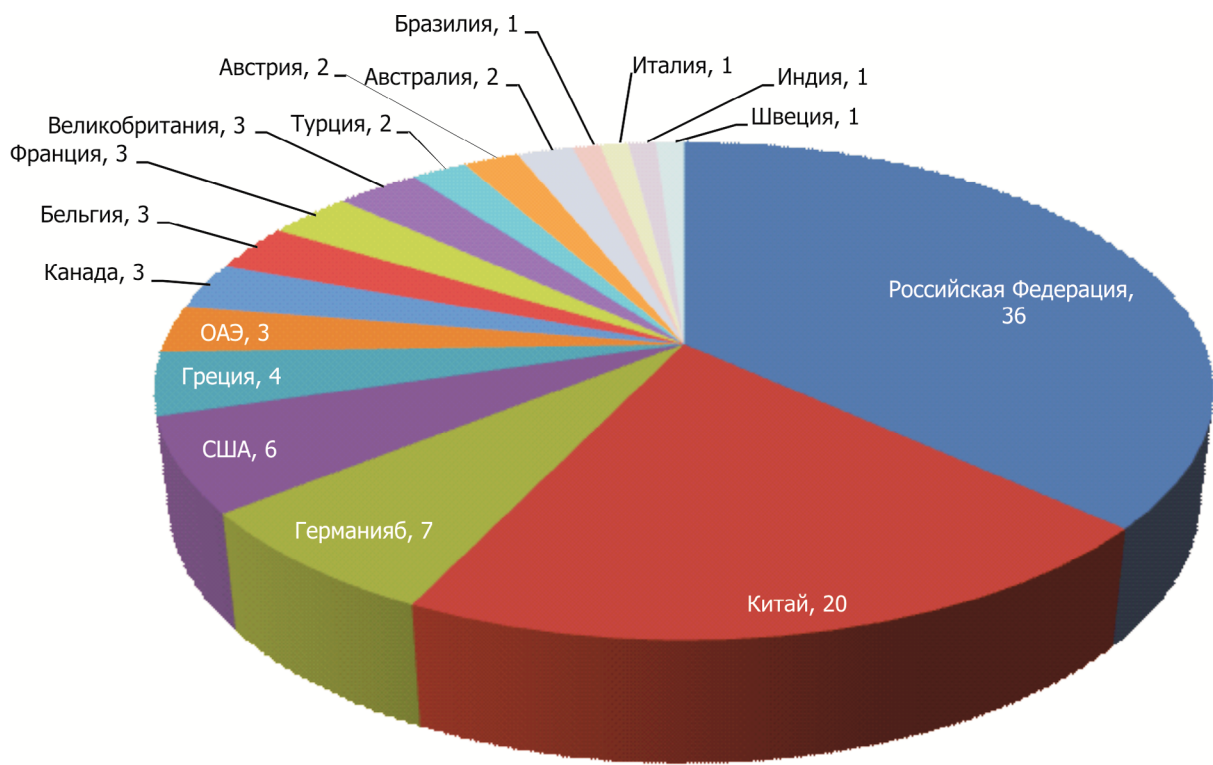
Научная программа заседаний включала 5 пленарных сессий, 5 «круглых столов» и 13 специальных сессий, охвативших практически все направления медико-биологических исследований в области пилотируемой космонавтики.

Важнейшие результаты работы космических агентств и других организаций, основные проблемные вопросы, перспективы развития космической медицины и биологии были представлены в пленарных докладах.

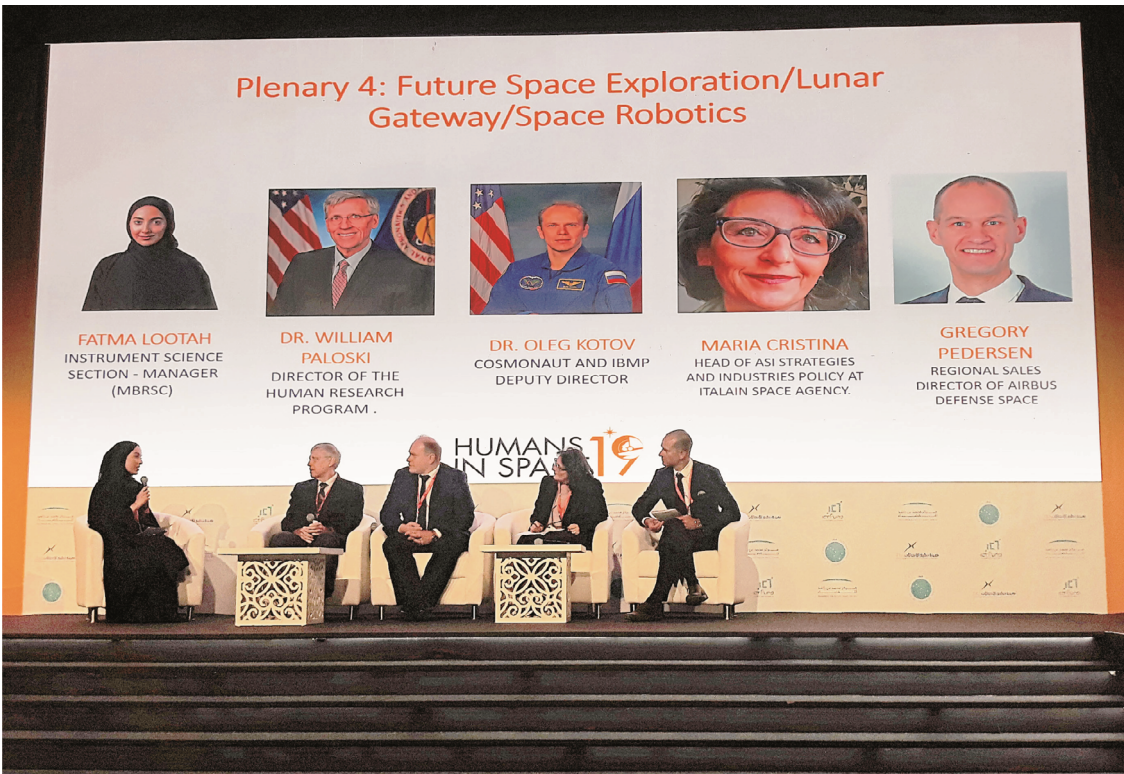
W.H. Paloski (NASA/JSC) ознакомил участников Симпозиума с концепцией NASA по решению проблем, связанных с сохранением здоровья человека в условиях межпланетного полета. Он продемонстрировал дорожную карту работ по подготовке к



Город Дубай – место проведения 22-го Симпозиума Международной академии астронавтики «Человек в космосе»



Количество докладов от разных стран на Симпозиуме



«Круглый стол», посвященный будущему освоению космоса, окололунной станции и космической робототехнике



Стендовая сессия. Е.В. Фомина представляет доклад исполнительному директору государственной корпорации «Роскосмос» С.К. Крикалеву

полету на Марс с детальным описанием этапа лунных баз, остановился на современном состоянии исследований, направленных на снижение рисков, обусловленных негативным влиянием факторов сверхдлительного космического полета, а также подробно описал результаты экспериментов, полученных с использованием наземных аналогов, уделив большое внимание проекту SIRIUS, реализуемому совместно ИМБП и Программой исследования человека (Human Research Program) NASA.

J.A. Robinson представила совместный доклад NASA и ИМБП об использовании МКС и лунной орбиты для аналоговых исследований в целях подготовки будущих марсианских миссий.

C. Kundrot (NASA) рассказал о новаторских исследованиях в рамках программы космической биологии NASA. Программа реализуется по четырем направлениям: омики, микробиология, исследования с использованием грызунов и растений. Для обеспечения неограниченного доступа к необработанным и обработанным данным, полученным в космическом полете и связанными с ними метаданными, разработана платформа GeneLab. Пользователи GeneLab могут загружать, скачивать, делиться, хранить и анализировать данные экспериментов по изучению микробов, беспозвоночных, клеточных культур, растений и грызунов. Эта база знаний дополняется архивом биологических образцов, который предоставляет исследователям неиспользованные образцы, полученные в результате полетных и наземных экспериментов.

M. Braun (DLR) представил несколько примеров того, как немецкая программа по наукам о жизни выступает в роли технологического драйвера, способствуя реализации правительственной стратегии технологического развития. Благодаря исследованиям на МКС и модельным исследованиям на Земле, были достигнуты весомые научные прорывы, внесен значимый вклад в клиническую практику и реабилитацию, а также в спортивную медицину и медицину труда.

Одна из пленарных сессий была полностью посвящена достижениям китайской космической отрасли. C. Shanguang (CNSA) рассказал о состоянии и перспективах программы пилотируемых космических полетов Китая, Y. Li (ACC) – о проблемах космической медицины в процессе освоения дальнего космоса и китайских экспериментах в этой области, H. Liu (BUAA) – о долгосрочном эксперименте по моделированию выживания на Луне («Лунный дворец 365»).

«Национальная стратегия ОАЭ в области космоса 2030» была представлена в пленарном докладе S. Alhajeri, (UAE Space Agency). Интерес аудитории вызвал программный доклад M. Al Shamsi (MBRSC) о программе ОАЭ по изучению Марса. Представитель космического агентства ОАЭ K. Al Hashmi сообщил о совместной инициативе Национального

центра космических наук и технологий США (NSSTC), Университета ОАЭ (UAEU), Национального центра космических исследований Франции (CNES) и Национального центра научных исследований Франции (CNRS)), направленной на построение всемирного сотрудничества в космосе и на Земле. Информацию о деятельности в рамках Инициативы по пилотируемым космическим технологиям Управления Организации объединенных наций по вопросам космического пространства в 2019 г. представил в пленарном докладе A. Niu (UNOOSA).

Планы Индийской организации космических исследований (ISRO) в области пилотируемого освоения космоса, в частности проект Гаганян, были освещены в докладе U. Sreerekha. В ближайшее пятилетие Индия планирует осуществить пилотируемый полет собственного корабля и стать четвертой космической сверхдержавой, самостоятельно проводящей пилотируемые космические полеты.

В.И. Гущин (ИМБП) подчеркнул важность психологических исследований в подготовке к межпланетной миссии, обратив внимание на тот факт, что современная система психофизиологического обеспечения экипажа хотя и будет взята за основу для сверхдальних миссий, но подвергнется некоторой модификации с учетом критериев психофизиологического отбора, мониторинга в полете, а также методов психподдержки. Малоизученным остается вопрос о нарушениях профессиональной деятельности после длительного воздействия микрогравитации непосредственно после приземления. Также следует обратить внимание на разработку новых видов бортовых тренажеров на базе виртуальной реальности.

C. Kourtidou-Papadeli (AUTH) ознакомила участников симпозиума с поисками решения психофизиологической проблемы адаптации организма человека к экстремальным условиям, в первую очередь, затронув проблемы сна.

В.К. Ильин (ИМБП) представил сообщение о микробной безопасности в межпланетных миссиях – традиционных и ожидаемых проблемах и мерах их предотвращения. К традиционным проблемам относятся обмен микроорганизмами в гермопомещениях, увеличение потенциала патогенности, стабильность бактериальных аэрозолей и т.д., а в числе новых факторов рассматривается возможность экзогенной контаминации в процессе внекорабельной деятельности и работе на поверхности других планет, а также изменение свойств микроорганизмов, оставляемых экипажем в напланетных базах. Исследования показали перспективность стабилизации микробиоценоза человеческого организма в измененных условиях обитания с помощью аутопробиотиков.

Доклад S. Laurie (KBRwyle) был посвящен одной из актуальных в настоящий момент проблем космической медицины – нейроокулярному синдрому,



Т.Н. Агапцева с астронавтами ОАЭ Н. Al Mansoori и S. Al Neyadi

связанному с космическими полетами (SANS). Обсуждение данной проблемы было продолжено в рамках отдельной специальной сессии.

Большой интерес научного сообщества арабских стран вызвали обсуждения за «круглым столом», посвященные отбору и успешному полету первого арабского астронавта. В качестве участников в них выступили астронавты ОАЭ и представители Космического центра имени Мухаммеда бин Рашида ОАЭ. Перспективы использования МКС и поддержка пилотируемых полетов в развивающихся странах обсуждались за «круглым столом» с участием представителей NASA, ESA, CNES, MBRSC и Госкорпорации «Роскосмос». Овациями зал приветствовал астронавтов ОАЭ Н. Al Mansoori и S. Al Neyadi, астронавта ESA T. Reiter и российских космонавтов А.А. Мисуркина и О.В. Котова – участников «круглого стола» «Как стать космонавтом?». Внимание широкой научной аудитории привлекло обсуждение за «круглым столом», посвященное дорожным картам космических агентств освоения космоса, созданию окололунной космической станции и развитию космической робототехники.

На специальных сессиях участники Симпозиума продолжили более глубокое обсуждение различных

аспектов космической биологии и медицины – действия факторов космического полета на сердечно-сосудистую, дыхательную, костно-мышечную, нервную, иммунную и другие системы организма, методов исследования этого воздействия и разработки средств профилактики негативных эффектов космического полета. Отдельные сессии были посвящены космической биологии и влиянию радиации на живые организмы. Специалисты ИМБП приняли активное участие в работе практически всех специальных сессий Симпозиума.

Один из важнейших вопросов космической медицины – это поиск адекватных моделей для исследования влияния факторов космического полета на Земле. В связи с этим сессии, посвященные аналоговым экспериментам, традиционно включают в себя большое количество докладов. Т.Н. Агапцева (ИМБП) представила обзор наземных модельных экспериментов, проводимых в ИМБП, первой ступени подготовки исследований в космосе. Важным фактором их успешной реализации является международное сотрудничество. Развитием темы послужило выступление Е.С. Томиловской (ИМБП), посвященное одной из моделей для изучения воздействия микрогравитации – «сухой» иммерсии, в частности, серии 21-суточных иммерсионных экспериментов. Проведение исследований такой длительности позволяет оценить не только спектр изменений, моделирующих этап острой адаптации к микрогравитации, но и особенности развития хронических адаптационных процессов в сенсомоторной, сердечно-сосудистой, костной, иммунной, пищеварительной и других системах организма. А.В. Суворов продолжил обсуждение полученных в данной серии результатов, рассказав о нарастающих изменениях гемодинамики и ухудшении ортостатической устойчивости в модельном эксперименте. Психологи ИМБП и МГУ им. Ломоносова (В.И. Гуцин, М.Д. Белоусова и др.) рассказали о принципах и примерах моделирования напланетной внекорабельной деятельности на базе технологии виртуальной реальности. Такая симулятивная модель позволит разработать стандартные процедуры испытаний для эргономической оценки новых космических приборов и технологий, проработать особенности взаимодействия экипажа и Центра управления полетами, а также экипажа высадки и орбитального экипажа, разработать дистанционное медицинское и психологическое сопровождение этих операций, определить их продолжительность и возможную нагрузку на космонавтов. В.И. Гуцин также представил результаты оценки межличностного взаимодействия и психологической устойчивости членов международного экипажа в экспериментах SIRIUS-17 и SIRIUS-19, которые могут быть полезны для разработки критериев психологического отбора для работы в составе экипажа в долговременных автономных экстремальных условиях.

Зарубежные коллеги также представили исследования, проведенные в наземных модельных экспериментах. G. Clément (CRNL) рассказал о совместном проекте NASA и DLR по реализации 30-дневной антиортостатической гипокинезии с повышенным уровнем CO₂, выявившем умеренные иммунологические нарушения, а также значительные нарушения в зрительной системе у некоторых испытуемых. G. Suzuki (JAXA) поделился опытом поиска объективной критериев оценки стресса в ходе проведения двухнедельной изоляции, которые могут лечь в основу разрабатываемых японскими учеными эффективных способов оценки состояния астронавтов в длительных космических полетах. B. Easter (University of Colorado) выступил с докладом о планируемом эксперименте по моделированию полета на Марс (2MARS) на базе исследовательской станции «Mars Desert Research Station» в штате Юта. H. Liu (BUAA) представила данные о позитивном влиянии выращивания фруктов и овощей на настроение и качество сна испытуемых в эксперименте «Лунный дворец».

Сессия по кардиореспираторным нарушениям собрала ученых разных стран, занимающихся изучением воздействия факторов космического полета на сердечно-сосудистую и дыхательную системы. Ученые из Турции при подготовке к коммерческим суборбитальным космическим полетам разрабатывают модель для имитации физиологических изменений, степени нагрузки и для прогнозирования медицинских рисков во время запуска и пребывания человека в условиях микрогравитации (доклад Н. Birol COTUK (Marmara University)). Один из способов предотвращения негативного воздействия длительного пребывания человека в условиях невесомости на сердечно-сосудистую систему был представлен в докладе M. Chagas (ISU). Это костюм, создающий давление на поверхность тела, благодаря раздуванию костюма по зонам от проксимальных до дистальных сегментов. Можно сказать, что такой костюм является примером близких технологий, разрабатываемых в разных странах, – он аналогичен костюму «Кентавр», применяемому космонавтами в послеполетном периоде на протяжении десятков лет. A.B. Сальников (ИМБП) сообщил о новых критериях снижения ортостатической устойчивости в условиях невесомости, позволяющих прогнозировать переносимость пробы с ОДНТ в космическом полете в 82 % случаев, метод основан на данных окклюзионной плетизмографии вен нижних конечностей российских космонавтов. В докладе A. Elmoselhi (UOS) сообщалось о проверке гипотезы о значительном вкладе молекулярных факторов окислительного стресса и воспаления в развитие дисфункций со стороны сосудистой системы во время космических полетов. Проблеме изучения механизмов сосудистой дисфункции во

время космического полета был посвящен и доклад N. Goswami (Medical University of Graz) о сравнении геномных, транскриптомных и протеомных сигналов эндотелиальных клеток мышей, подвергнутых воздействию низкой или нормальной гравитации, а также гипоксическим или нормоксическим условиям. Эта работа перекликается с результатами, представленными на секции симпозиума, посвященной омиксным исследованиям. Результаты комплексного эксперимента, направленного на изучение воздействий факторов полета на сердечно-сосудистую систему и протеом человека, выполненного несколькими коллективами ИМБП, были представлены Л.Х. Пастушковой. Показаны различия изменений протеома мочи, вызванные космическим полетом, в группах с различным типом вегетативной регуляции сердечного ритма.

На сессии по нейрофизиологии F. Whuyts (UAntwerp) представил два доклада о совместных исследованиях ученых из Бельгии, России (ИМБП) и Германии, впервые продемонстрировавшие изменения объема различных тканей мозга, сохраняющиеся в течение 7 месяцев после полета. В качестве одного из предлагаемых объяснений рассматривается перераспределение биологических жидкостей, хотя окончательный ответ на этот вопрос пока не получен.

Значительное снижение функциональных возможностей, ортостатической устойчивости, точности произвольных движений и высокий уровень болезни движения в первые сутки после космического полета показаны в совместном российско-американском эксперименте «Полевой тест» (Е.В. Томиловская).

Отдельная секция была посвящена методам диагностики состояния зрительной системы во время и после длительных космических полетов и в наземных аналоговых исследованиях. Доклады О.М. Манько (ИМБП) на основе исследований, выполненных совместно с Центром подготовки космонавтов, отражали основные результаты изучения функций органов зрения в аналоговых экспериментах с иммерсией и на борту МКС. Эти сообщения вызвали большой интерес в связи с актуальностью проблематики – исследования зрительной системы в моделируемых условиях космического полета активно проводятся в научных центрах космических агентств последние несколько лет. Наиболее информативным методом оценки состояния сосудистой оболочки, сетчатки и зрительного нерва в настоящий момент является спектральная оптическая когерентная томография (ОКТ). С ее помощью показано, что маркером дезадаптации зрительной сенсорной системы в комплексной оценке динамического состояния ЦНС в условиях стресса могут быть морфометрические изменения определенных структур нейроглии сетчатки. F. Wyuts представил

доклад об изменениях вентрикулярного объема и их корреляции с изменениями остроты зрения.

В рамках секции, посвященной изучению психологических факторов и циркадианных ритмов, было представлено несколько перспективных технологий по изучению состояния космонавтов и астронавтов в ходе полета. Е.С. Лучицкая (ИМБП) ознакомила участников симпозиума с усовершенствованной технологией изучения качества сна, отработанной в изоляционных проектах «Марс-500» и SIRIUS и планируемой к использованию на МКС с 2020 года. Н.С. Gunga (Charite) сообщил о результатах мониторинга изменений температуры тела человека на борту МКС, показавшего значительное и зачастую продолжительное увеличение температуры ядра тела астронавтов в ходе тренировок. Группа психологов ИМБП под руководством В.И. Гущина представила уникальный метод оценки психофизиологического состояния оператора с помощью анализа акустических характеристик речи. Метод был апробирован в наземных исследованиях, показана его валидность, планируется его дальнейшее использование на МКС.

На секции по воздействию факторов космического полета на опорно-двигательную систему обсуждались механизмы такого воздействия и возможности профилактики нарушений. Y. Xue (NWPU) с соавторами представили исследование, показавшее ингибирующее действие гипомангнитной среды на восстановление потерь костной массы, вызванной микрогравитацией. X. Chen (ACC) представил материалы о протективном эффекте гемоувелина на мышечную атрофию с описанием предполагаемого механизма этого эффекта.

Важное место на Симпозиуме «Человек в космосе» всегда занимает обсуждение профилактики негативного воздействия факторов космического полета на организм человека. В этом году много внимания было уделено центрифуге короткого радиуса как одному из возможных средств профилактики нарушений, вызванных воздействием микрогравитации. М.И. Колотева (ИМБП) представила доклад о центрифуге короткого радиуса, разработанной в ИМБП, и исследованиях с различными режимами вращения, перспективными для использования в системе профилактики в сверхдлительных космических полетах. Г.Ю. Васильева (ИМБП) ознакомила слушателей с применением в этих исследованиях метода полисегментного анализа биоимпеданса для мониторинга перераспределения жидкостей в различных областях тела. В. Brix (MedUniGraz) поделился с участниками секции информацией об экспериментах на центрифуге короткого радиуса, выполняемых в Немецком аэрокосмическом центре, направленных на изучение барорефлекса после вращения. Вторая часть докладов была посвящена послеполетным исследованиям. Е.В. Фомина (ИМБП) рассказала о перестройках в механизмах

энергообеспечения мышечной деятельности, наблюдаемых у космонавтов после длительных космических миссий; представила данные о сопряженности этих перестроек с параметрами физических тренировок в полете. В работах партнеров по МКС изменения параметров газообмена были описаны ранее, но в докладе впервые были показаны причины этих изменений. В качестве примера приведен уникальный случай повышения аэробных возможностей у одного из космонавтов, выполнявшего в полете физические тренировки повышенной интенсивности. Эти результаты открывают перспективы создания системы профилактики гипогравитационных нарушений, способной обеспечить уровень физической работоспособности, необходимый для успешного выполнения напланетной деятельности в межпланетном полете. G. Clément сообщил о новых мерах профилактики сенсомоторных нарушений, предлагаемых NASA, в частности, с использованием виртуальной реальности.

В рамках секции по иммунологии С.А. Пономарев (ИМБП) и С.А. Калинин (ИМБП), представили доклады о влиянии факторов космического полета на иммунную систему в модельных исследованиях. Yu Chen (BIT) рассказал о новой разработке – прототипе устройства анализа клеток в космосе, которое позволяет проводить как культивирование клеток, так и подготовку клеточных образцов и электронную микроскопию. Немецкие ученые в соавторстве со специалистами из ИМБП (J.-I. Buchheim, Г.Ю. Васильева, С. Karrasch и др.) выдвинули гипотезу о том, что системы искусственного интеллекта (робот CIMON), разработанные для МКС, могут снижать уровень стресса, вызванного действием факторов космического полета.

Одна из ключевых проблем, требующих решения при подготовке пилотируемого освоения дальнего космоса – достоверная оценка радиационного воздействия на организм и эффективные меры по его ослаблению. На секции о влиянии радиации на биологические системы ученые из России, ОАЭ и Китая обсудили вопросы воздействия радиации на ДНК, клетки и ткани, воздействия космического излучения на людей в зависимости от пола и возраста и другие аспекты. В.А. Шуршаков (ИМБП) ознакомил участников сессии с новыми результатами экспериментальных исследований уровней радиационного воздействия на борту МКС с использованием тканезквивалентного шарового фантома. Показаны значительные различия доз в различных регионах фантома, с максимумом вблизи внешней стенки отсека. Максимальная мощность дозы связана с воздействием галактических космических лучей и частиц радиационных поясов Земли. Подтверждена эффективность дополнительной защиты от радиационного воздействия на основе использования водосодержащих материалов.

Секция по космической биологии включала в себя доклады о воздействии факторов космического полета на микроорганизмы, растения и животных. В докладе В.К. Ильина было отмечено, что учеными ИМБП проводится регулярный отбор проб мелкодисперсного осадка с внешней поверхности Российского сегмента МКС. Результаты исследований свидетельствуют о возможности сохранения микроорганизмами жизнеспособности в условиях открытого космоса в течение одного года, что является весомым аргументом в подтверждение гипотезы существования на Земле организмов-экстремофилов, обладающих повышенной устойчивостью к космическому воздействию.

Многих участников Симпозиума заинтересовала сессия, посвященная проблемам будущих пилотируемых полетов. В рамках этой сессии А.Н. Нечаев (ИМБП) посвятил свое выступление российским медико-биологическим технологиям для пилотируемых полетов на Луну. Испытания таких технологий осуществляются в рамках «Долгосрочной программы научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на Российском сегменте Международной космической станции». Анализ текущего состояния и перспектив внедрения этих технологий свидетельствует о возрастающей тенденции к использованию бортовых автоматизированных систем в ходе обеспечения космических полетов. В рамках обсуждения проблем будущих полетов Э.И. Мацнев (ИМБП) затронул тему особенностей вестибуло-вегетативной устойчивости женщин в зависимости от фаз овариально-менструального цикла, которые необходимо учитывать при планировании полетов женщин в космос.

Сессия мультидисциплинарных исследований была посвящена широкому кругу вопросов, касающихся космической медицины и биологии. А.А. Пахомова (ИМБП) осветила перспективные использования химико-аналитических технологий для контроля химической безопасности воздуха при выполнении лунных миссий. Были также представлены доклады по робототехнике (С. Xiao (Nanjing University)) и нейросетям (доклад А.Д. Дору (Marmara University)). Аудитория проявила интерес к докладу, посвященному организации образовательной деятельности в ИМБП, поступили предложения об организации совместных работ.

В рамках мероприятия была организована сессия интерактивных презентаций. Представители Госкорпорации «Роскосмос» заинтересовались результатами, представленными авторским коллективом из Института математики имени Соболева и ИМБП об этапах разработки системы поддержки принятия решения для управления процессом физических тренировок в автономном полете: в настоящее время предложена достаточно точная математическая модель, описывающая изменения физической

работоспособности человека на различных этапах космического полета. М.И. Колотева представила доклады о переносимости перегрузок на этапе возвращения с орбиты. Как показали исследования, при увеличении длительности пребывания в невесомости возрастает частота нарушений, свидетельствовавших о детренированности сердечно-сосудистой системы и необходимости использования на борту искусственной гравитации для снижения негативных проявлений длительного космического полета.

Параллельно с участием в научных дискуссиях специалистами разных стран были проведены переговоры по обсуждению практических вопросов организации сотрудничества в области космической биологии и медицины.

22-й Симпозиум «Человек в космосе» собрал ведущих специалистов в области космической биологии и медицины со всего мира и послужил еще одной значимой вехой на пути подготовки человечества к сверхдлительным полетам в дальний космос.

Поступила 03.02.2020

BIOMEDICAL PROBLEMS OF HUMAN SPACE EXPLORATION, ON THE MATERIALS OF THE 22ND HUMANS IN SPACE SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL ACADEMY OF ASTRONAUTICS

Fomina E.V., Kussmaul A.R., Belakovskiy M.S.

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

Human deep space exploration can be successfully realized only with the cooperation of scientists and specialists from different countries. For many years the Humans in Space Symposium, regularly organized by space agencies and organizations of different countries under the auspices of International Academy of Astronautics (IAA), has been being a platform for a fruitful discussion of fundamental problems and practical issues, exchange of research results and ideas in space biology and medicine. The 22nd Humans in Space Symposium was held in Dubai, on November 11–14, 2019. Over 300 experts from 17 countries took part in it. The scientific program of this event included 5 plenary sessions, 5 round tables and 13 special sessions covering almost all biomedical problems of human space flights. 96 reports were presented, 36 of them were prepared by the IBMP specialists. The 22nd Humans in Space Symposium has become a significant milestone on the path of human space exploration.

Key words: space medicine and biology, medical and biological support of space flights, international cooperation.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2020. V. 54. № 1. P. 84–91.

НЕКРОЛОГ

**ИНЕСА БЕНЕДИКТОВНА КОЗЛОВСКАЯ****02.06.1927 – 19.02.2020**

После тяжелой болезни от нас ушла Инеса Бенедиктовна Козловская, блестящий ученый, яркий незаурядный человек, учитель. Инеса Бенедиктовна Козловская была выдающимся специалистом в области гравитационной физиологии, долгие годы руководила отделом сенсомоторной физиологии и профилактики Института медико-биологических проблем РАН. Она была удостоена званий члена-корреспондента РАН, заслуженного деятеля науки РФ.

Научная карьера Инесы Бенедиктовны началась в стенах 1-го Московского медицинского института. Закончив аспирантуру на кафедре физиологии в 1954 г., она успешно защитила кандидатскую диссертацию и начала педагогическую деятельность под руководством профессоров М.А. Усиевича и П.К. Анохина. В 1960 г. перешла работать в Институт высшей нервной деятельности. В 1966–1971 гг., находясь в зарубежной командировке по академическому обмену, занималась исследованиями в Рокфеллеровском университете в лаборатории профессора Н. Миллера и в Нью-Йоркском медицинском колледже под руководством профессора В. Брукса. По возвращении в Москву в 1971 г. перешла в Институт проблем передачи информации

АН СССР и в 1976 г. защитила докторскую диссертацию, стала признанным экспертом в области физиологии мозжечка.

В 1977 г. по приглашению академика О.Г. Газенко Инеса Бенедиктовна перешла на работу в Институт медико-биологических проблем. В совершенно новой для себя области исследований она быстро выдвинулась в ряды ведущих ученых, возглавила приматологическую часть программы «Бион» и ряд крупных нейрофизиологических проектов. Она стала общепризнанным ученым в области разработки средств и методов профилактики двигательных и других физиологических нарушений, вызванных действием невесомости.

За результаты исследований в полетах космических аппаратов «Бион» (1973–1993 гг.) и их использования в теории и практике космической медицины в 1998 г. Инеса Бенедиктовна была удостоена премии Правительства Российской Федерации, а в 2002 г. – Государственной премии РФ в области науки и техники за цикл исследований особенностей управления движением в условиях микрогравитации. Данные исследования позволили разработать информационное обеспечение качества визуальной стабилизации космических объектов.

И.Б. Козловская – лауреат премии Первого канала «Призвание» – за создание нового направления в медицине, премии им. Л.А. Орбели РАН, а также ряда международных премий, в том числе премии имени Нело Пейса Международного общества гравитационной физиологии (2007), премии в области наук о жизни Международной академии астронавтики (1995), американской премии выдающимся исследователям биоастронавтики им. Л. Янга за важный вклад в исследования нейромышечного контроля и здоровья космонавтов (2011) и премии им. Дж. Саттона «За научные достижения, продвигавшие область космической медицины» (2019).

Работы Инесы Бенедиктовны и ее научного коллектива внесли важный вклад в изучение гравитационных механизмов в двигательной системе и в практику пилотируемых космических полетов. Разработанные ею подходы находят применение в практике клинической, авиационной и спортивной медицины.

Ее ученики и соратники, сотрудники нашего Института всегда будут хранить добрую память о замечательном ученом и человеке Инесе Бенедиктовне Козловской.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Рецензируемый научно-практический журнал «Авиакосмическая и экологическая медицина» принимает экспериментальные и теоретические работы отечественных и зарубежных авторов по актуальным проблемам авиационной, космической, морской, водолазной, спортивной и экологической физиологии и медицины. Основные рубрики журнала: «Обзоры», «Экспериментальные и общетеоретические исследования», «Клинические исследования», «Методики», «Краткие сообщения», «Дискуссии», «Письма в редакцию», «Рецензии», «Из истории космической биологии и авиакосмической медицины», «Хроника и информация», «Лекции». Издание осуществляется на безгонорарной основе.

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации, рекомендованных для опубликования материалов кандидатских и докторских диссертаций.

Представление рукописей

Электронная версия статьи и сопроводительные документы присылаются по электронной почте на адрес: **e-mail: arhiv@imbp.ru**.

Статья должна сопровождаться сканом официального направления от учреждения, в котором она была подготовлена. На отдельном листе представляются: название статьи, сведения об авторах (Ф.И.О., организация, телефоны и e-mail для контактов), подписи всех авторов статьи. Скан этого документа направляется по электронной почте вместе с сопроводительным письмом и статьей. При наличии соавторов из зарубежных стран необходимо иметь подтверждение о согласии их на публикацию статьи.

Датой поступления считается дата получения редакцией рукописи. Статьи, отосланные авторам для исправления, должны быть возвращены в редакцию не позднее, чем через месяц в виде исправленной электронной версии с выделением внесенных изменений и приложением ответа авторов рецензенту текста. Статьи, не возвращенные в редакцию в течение одного месяца, снимаются с редакционного учета. Решение об одобрении или отклонении представленной в редакцию статьи принимается редакционной коллегией и является окончательным. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать принятые работы.

Объем рукописей

Объем передовых, обзорных, проблемных, итоговых и дискуссионных статей не должен превышать 25 страниц, экспериментальных и общетеоретических исследований – 15 страниц (включая иллюстрации, таблицы, реферат и список литературы); объем рецензий, кратких сообщений и других материалов – не более 5 страниц.

Оформление рукописей

Статья должна включать титульные данные, реферат, ключевые слова, разделы: введение (без заголовка) с формулировкой цели исследования, **методика** (методы исследования и способы статистической обработки), **результаты и обсуждение, выводы**. В конце статьи приводится **список литературы**.

1. **Титульные данные:** индекс УДК, заглавие, фамилии авторов и инициалы, полное название учреждения, город, e-mail автора (с которым следует вести переписку). Если авторов несколько и они из разных учреждений, то у каждой фамилии и учреждения ставится соответствующий индекс. Далее необходимо указать **место работы авторов статьи на английском языке**.

Образец представления титульных данных:

УДК 612.085.4

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ

Иванов И.С., Петров В.С., Сидоров Б.В.

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

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

E-mail: ivanov@mail.ru

УДК 591.392

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ

Симонов С.Э.¹, Мамонтов Л.А.²

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

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

¹Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow

²Military Medical Academy named after S.M. Kirov, St. Petersburg

E-mail: simonov@mail.ru

2. **Реферат.** Реферат, объемом не более 250 слов, должен обеспечить понимание главных положений статьи. Рекомендуется составление реферата по следующей схеме: тема, характер и цель работы, объекты исследований, методики, основные теоретические и экспериментальные результаты. Реферат переводится на английский язык в редакции.

3. **Ключевые слова:** не более 7.

4. **Текст.** Статья должна быть напечатана на одной стороне листа А4 шрифтом Times New Roman, Arial илиTahoma 12 кегля через полтора интервала. Поля пронумерованных страниц должны быть: верхнее и нижнее – 2 см, левое – 3 см, правое – 1,5 см. Сохранять статью необходимо как документ Word 97-2003, с расширением *.doc.

5. **Единицы измерения и сокращения.** При выборе единиц измерения рекомендуется придерживаться международной системы единиц СИ.

В тексте допускается сокращение часто встречающихся терминов и понятий по начальным буквам входящих в них слов, если при первом упоминании приведено полное название. После числовых значений единицы измерения сокращаются (1 нед, 1 сут, 1 ч, 1 мин, 1 с и т.п.).

6. **Рисунки.** Количество рисунков в статье не должно превышать 5. Рисунки, представленные на электронных носителях в черно-белом изображении, должны быть в виде файлов программы, в которой они были созданы (Excel, Statistica и т.п.) или сохранены с расширением *.emf, *.wmf; либо в формате TIFF (расширение *.tiff) или JPEG (расширение *.jpeg), с разрешением не менее 300 dpi. Цифровые и текстовые обозначения делаются нежирным шрифтом Arial или Tahoma, крупно и четко. В комбинациях рисунков каждый из них обозначается прописными буквами (А, Б, В, Г) в левом нижнем углу.

В подрисунковых подписях приводятся: номер рисунка, его название и при необходимости – примечание, а также обозначения по осям абсцисс и ординат и единицы измерения (если они не нанесены на рисунок). В комбинации рисунков подрисунковая подпись должна включать общее название и далее после двоеточия определения рисунков под буквами (А, Б, В, Г). В подписях к микрофотографиям указывают метод окраски и увеличение.

При использовании иллюстраций других авторов (из журналов или сайтов) необходимо иметь разрешение на их публикацию.

7. **Таблицы.** Сверху справа необходимо указать номер таблицы. Ниже дается ее название. Дублирование данных в тексте, таблицах и на рисунках недопустимо. Если таблица или рисунок один, то номер не присваивается.

8. **Формулы** необходимо составлять с помощью конструктора формул программы Word или специально предназначенной для этого программы (MathType). Формулы нумеруются арабскими цифрами. Номер формулы заключается в круглые скобки и ставится у правого края. Желательно нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

9. **Выводы,** если их несколько, представляются по пунктам. Выводы статьи не должны оформляться в виде заключения и содержать ссылки на литературные источники.

10. **Список литературы** составляется путем сквозной нумерации цитируемых источников в соответствии с порядком упоминания их в тексте. Ссылки в тексте на цитируемую литературу даются в квадратных скобках. В оригинальных статьях цитируется не более 20 источников, в передовых статьях и обзорах литературы – не более 50. Ссылки на публикации авторов статьи (самоцитирование) не должны превышать 15 % источников.

Библиографическое описание периодических изданий: фамилии и инициалы авторов, полное название статьи, стандартное сокращенное название журнала, год, том, номер, первая и последняя страницы. Для книг: название книги, место издания, издательство, год издания.

Допускается ссылка на интернет-ресурсы. В список литературы не могут быть включены рукописи, научные отчеты, патенты на изобретения.

Учитывая требования международных систем (таких как Web of Science и Scopus) в списке литературы под источником на русском языке помещается его библиографическая ссылка, имеющая следующую структуру: авторы (транслитерация), перевод названия книги или статьи на английский язык, название источника (транслитерация), выходные данные в цифровом формате.

Примеры исключений при транслитерации: Kazan, Kharkov, Nalchik, Perm, Ryazan, Tver, Yaroslavl etc (опускается символ мягкого знака); Moscow (не Moskva) Rostov-on-Don (не Rostov-na-Donu), St. Petersburg (не Sankt-Peterburg), Yekaterinburg (не Ekaterinburg).

Образец представления списка литературы:

1. Афонин Б.В., Носков В.Б., Поляков В.В. Состояние пищеварительной системы в условиях длительного космического полета // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 5. С. 53–59.
Afonin B.V., Noskov V.B., Polyakov V.V. The state of the digestive organs during long-term spaceflight // Fiziologiya cheloveka. 2003. V. 29. № 5. P. 53.
2. Шерлок Ш., Дули Дж. Заболевания печени и желчных путей: Пер. с англ. М., 1999.
Sherlock Sh., Dooley G. Diseases of the liver and biliary system. Moscow, 1999.
3. Виноходова А.Г., Быстрицкая А.Ф., Смирнова Т.М. Способность к психической саморегуляции как фактор устойчивости к стрессу в экстремальных условиях космического полета // Авиакосм. и экол. мед. 2005. Т. 39. № 5. С. 14–18.
Vinokhodova A.G., Bystritskaya A.F., Smirnova T.M. Ability to control own psyche as a factor of stress tolerance in the extreme conditions of space flight // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2005. V. 39. № 5. P. 14–18.

Работы на кириллице можно автоматически транслитерировать на сайте translit.ru, выбирая стандарт BSI (British Standards Institution). Переводчик Google позволяет перевести описание источника.

Образец представления списка иностранной литературы:

1. Berger M., Gerstenbrand F., Burlatchkova N.S. et al. Eye-head-arm coordination and spinal reflexes in weightlessness // Health from Space Res. Ed. ASM. Wien, 1992. P. 19–135.
2. Gallash E., Kozlovskaya I.B. Vibrographic signs of autonomous muscle tone studied in longterm space mission // Acta Astronaut. 1998. V. 43. № 3–6. P. 101–106.
3. Gitelson J.I., Lisovsky G.M., MacElroy R.D. Manmade closed ecological systems. Taylor & Francis Group. London; N.Y., 2003.

Образец представления ссылки на интернет-ресурсы:

1. Анисимов В.Н. Мелатонин: роль в организме, применение в клинике. [Электронный ресурс]. СПб., 2007. URL: <http://bono-esse.ru/blizzard/Farma/Melatonin/melatonin.html>.
Anisimov V.N. Melatonin: a role in an organism, use in clinic. [Electronic resource]. St. Petersburg, 2007. URL: <http://bono-esse.ru/blizzard/Farma/Melatonin/melatonin.html>.
2. Сазонов В.Ф. Гипоталамус. [Электронный ресурс]. URL: kineziolog.bodhy.ru [сайт]. URL: <http://kineziolog.bodhy.ru/content/gipotalamus>.
Sazonov V.F. Hypothalamus [Electronic resource]. URL: kineziolog.bodhy.ru [website]. URL: <http://kineziolog.bodhy.ru/content/gipotalamus>.

Биоэтика

В статьях, описывающих результаты исследований на человеке и на животных должны быть ссылки на одобрительное решение локальных (институтских) комиссий (комитетов) по биомедицинской этике с указанием даты и номера протокола. При проведении исследований с участием людей от каждого из них должно быть получено добровольное Информированное согласие, подписанное после разъяснения потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Редакционная этика

Представление в редакцию работ, которые уже опубликованы в других изданиях или посланы для публикации в другие издательства, не допускается. Статьи, принятые редакцией, не могут быть опубликованы

в других изданиях без письменного разрешения издателя журнала «Авиакосмическая и экологическая медицина». Редакция не несет ответственность за достоверность данных, представленных в статье.

Справки

Справки по всем вопросам, связанным с публикацией статей, можно получить у ответственного секретаря, заведующей делопроизводством журнала и в общем отделе редакции.

Контактная информация:

Заведующая делопроизводством журнала: тел., факс: **8(499)195-65-12**, Муромцева Татьяна Салеховна, e-mail: **arhiv@imbp.ru**.

Общий отдел редакции: тел. 8(499)195-68-74, e-mail: library@imbp.ru.

Редколлегия журнала сердечно поздравляет
с юбилейными датами сотрудников ГНЦ РФ – ИМБП РАН:

Величко Ольгу Юрьевну

Камаеву Людмилу Анатольевну

Медникову Елену Ивановну

Никонорова Алексея Геннадьевича

Полева Александра Витальевича

Абросимову Аллу Николаевну

Владимирова Ивана Владимировича

Добрые вам пожелания и плодотворной работы!

