ABИAKOCMИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА AVIAKOSMICHESKAYA I EKOLOGICHESKAYA MEDITSINA

НАУЧНЫЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ SCIENTIFIC PERIODIC JOURNAL

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Орлов О.И., д.м.н., академик РАН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ардашев В.Н., д.м.н., профессор
Баранов В.М., д.м.н., профессор, академик РАН
Буравкова Л.Б., д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН
Бухтияров И.В., д.м.н., профессор
Виноградова О.Л., д.б.н., профессор — 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
Микаі Сh., М.D., Ph.D. (Japan)
Sutton J., M.D., Ph.D. (USA)
Suchet L.G., Ph.D. (France)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Григорьев А.И., д.м.н., профессор, академик РАН — **председатель**Благинин А.А., д.м.н., д.психол.н., профессор
Гальченко В.Ф., д.б.н., профессор, член-корреспондент РАН
Жданько И.М., д.м.н.
Козловская И.Б., д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН
Котовская А.Р., д.м.н., профессор
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, член-корреспондент АНРК (Казахстан)

Макашев Е.К., д.б.н., профессор, член-корреспондент АНРК (Казахстан)
Gerzer R., М.D., Ph.D., professor (Germany)
Gharib C., Ph.D., professor (China)

2019 T. 53 № 7

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, 2019
- © State Research Center RF Institute of Biomedical Problems Russian Academy of Sciences, 2019

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 16.12.2019 Подписано в печать 27.12.2019 Формат 60 × 84 1/8 Гарнитура Таhoma Печать офсетная Усл. печ. л. Тираж 180 экз Заказ № 000

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

Содержание Contents

Обзоры Reviews

Шафиркин А.В. Продолжительность жизни космонавтов СССР (России) и астронавтов США и риски для здоровья при действии различных стрессорных факторов на Земле и в космосе

Shafirkin A.V. Life span of the USSR (Russian) cosmonauts, US astronauts and risks to health from various stress-factors on Earth and in space

Экспериментальные и общетеоретические исследования

Experimental and Theoretical Investigations

Фомина Е.В., Лысова Н.Ю., Резванова С.К., **19** Киреев К.С., Котов О.В., Новицкий О.В., Тимме Е.А. Предикторы готовности космонавта к деятельности на поверхности Марса из опыта орбитальных полетов на МКС

19 Fomina E.V., Lysova N.Yu., Rezvanova S.K., Kireev K.S., Kotov O.V., Novitskiy O.V., Timme E.A. Predictors of cosmonaut's readiness to work on the Martian surface on the evidence from orbital missions onboard the International space station

Рюмин О.О., Войтенко А.М. Межпланетная миссия: подбор и психологическая подготовка командира экипажа

28 Ryumin O.O., Voitenko A.M. Interplanetary mission: crew commander assignment and psychological training

Королёва М.В., Галичий В.А., Степанова С.И., Карпова О.И., Карапетян А.С. Актуальные вопросы регламентации рабочего времени участников длительных космических полетов

33 Koroleva M.V., Galichiy V.A., Stepanova S.I., Karpova O.I., Karapetyan A.S. Topical issues of working hours regulation for members of extended space missions

Руденко Е.А., Баранов М.В., Захаров С.Ю. **40** Исследование параметров центральной и периферической гемодинамики при длительном пребывании в условиях ортостатической и антиортостатической гипокинезии

Rudenko E.A., Baranov M.V., Zakharov S.Yu. Studies of central and peripheral hemodynamics during extended orthostatic and antiorthostatic hypokinesia

Потапов М.Г., Скедина М.А., Ковалёва А.А. **48** Применение аппаратной физиотерапии на санаторно-курортном этапе реабилитации космонавтов

48 Potapov M.G., Skedina M.A., Kovaleva A.A. Application of hardware-based physiotherapy on the sanatorium-and-spa stage of cosmonauts' rehabilitation

Демин А.В., Суворов А.В., Fietze I., Penzel Т. **55** Количественная оценка восстановительных свойств сна у людей во время 2-недельной изоляции при моделировании полета к Луне

Dyemin A.V., Suvorov A.V., Fietze I., Penzel T. Quantitative evaluation of the sleep recovery properties in people during 2-week isolation simulating a mission to the Moon

Бубеев Ю.А., Усов В.М., Сергеев С.Ф., **65** Крючков Б.И., Михайлюк М.В., Йоханнес Б. Итоги космического эксперимента «Пилот-Т» для моделирования взаимодействия в системе «человек — робот» на лунной поверхности

65 Bubeev Yu.A., Usov V.M., Sergeev S.F., Kryuchkov B.I., Mikhailyuk M.V., Johannes B. Results of space experiment Pilot-T simulating the human – robot interactions on the lunar surface

Хоменко М.Н., Вартбаронов Р.А., Вовкодав В.С., **76** Чурилов Ю.К., Бондарева С.В. Обоснование методики статоэргометрической пробы с целью прогнозирования переносимости пилотажных перегрузок у летного состава высокоманевренных самолетов

Khomenko M.N., Vartbaronov R.A., Vovkodav V.S., Churilov Yu.K., Bondareva S.V. Presentation of a static ergometer test procedure for predicting tolerance to flight g-loads of highly maneuverable aircraft pilots

Ковалевский А.М., Иорданишвили А.К., **84** Гайворонский И.В., Пащенко П.С., Латиф И.И. Состояние полости рта у летного состава при систематическом воздействии общей вибрации

84 Kovalevsky A.M., Iordanishvili A.K., Gaivoronsky I.V., Pashchenko P.S., Latif I.I. Effect of systematic exposure to total vibration on the condition of pilot's mouth cavity

Усенко Г.А., Васендин Д.В., Усенко А.Г., **91** Шакирова Н.А. Особенности потребления и использования кислорода организмом пациентов с ишемической болезнью сердца в дни магнитных бурь в зависимости от их психосоматического статуса и варианта лечения

91 Usenko G.A., Vasendin D.V., Usenko A.G., Shakirova N.A. Trends in oxygen consumption and utilization in patients with ischemic cardiac disease on the days of magnetic storms depending on their psychosomatic status and therapeutic tactics

Краткие сообщения

Brief Communications

Мацнев Э.И., Захарова Л.Н., Сигалева Е.Э. **100** Особенности вестибуловегетативной устойчивости у женщин в различные фазы менструального цикла в аспекте пилотируемых космических полетов

Matsnev E.I., Zakharova L.N., Sigaleva E.A. Characteristics of female vestibulo-autonomic stability in different phases of the menstrual cycle in the aspect of piloted space missions

Памяти коллеги

In Memory of a Colleague

Крапивницкая Т.А., Крапивницкая Л.В. **104** Н.А. Разсолов – врач, педагог, ученый. К 90-летию со дня рождения

Krapivnitskaja T.A., Krapivnitskaja L.V. N.A. Rassolov – doctor, teacher, scientist. To the 90th anniversary

Указатель статей 105 Index of Articles

Авторский указатель Authors' Index

ОБЗОРЫ

УДК 629.7+613.6

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ КОСМОНАВТОВ СССР (РОССИИ) И АСТРОНАВТОВ США И РИСКИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ СТРЕССОРНЫХ ФАКТОРОВ НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ

Шафиркин А.В.

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

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

В работе рассмотрены материалы, касающиеся здоровья представительных когорт людей, отбираемых для профессиональной работы летчиками, космонавтами, подводниками, тренированных мужчин 25—30 лет с наилучшими показателями здоровья. Продемонстрированы данные об экспоненциальной зависимости снижения суммарного объема компенсаторных резервов организма у мужчин после 25—30 лет и экспоненциальном увеличении с этого возраста риска смертности.

По данным демографической статистики получены возрастные изменения коэффициентов смертности мужского населения России, США и Японии в 1989–1990 гг., которые были применены при расчетах суммарного радиационного риска в течение всей жизни космонавтов после завершения полетов. Проанализированы кривые выживаемости для астронавтов США — членов экипажей, совершавших орбитальные полеты вокруг Земли и полеты к Луне. Определены суммарные риски в отношении ухудшения здоровья и увеличения коэффициентов смертности под действием экологических и социальных факторов за период 1960—2019 гг. и воздействия космических факторов на космонавтов (астронавтов) за непродолжительную карьеру (1—3 года) во время орбитальных космических полетов, а также полетов к Луне.

Ключевые слова: экологические факторы, модель изменения возрастных рисков, эпидемиологические наблюдения, здоровье населения профессиональных групп, космонавты, риски после космических полетов, заболеваемость и смертность, продолжительность жизни.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. $\mathsf{T}.$ 53. № 7. $\mathsf{C}.$ 5-18.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-5-18

В настоящее время известно, что Устав ВОЗ определяет здоровье как «состояние полного физического, психического и социального благополучия, а не только отсутствие болезней или инвалидности». В большинстве других современных определений это понятие рассматривается с тех же философских позиций и трактуется главным образом как способность человека к оптимальному физиологическому и социальному

функционированию, способствующему максимальной продолжительности жизни индивидуума. У высших животных, включая человека, здоровье напрямую связано с возможностью организма поддерживать гомеостаз, а долголетие - с сохранением гомеостаза в течение как можно большего периода жизни [1-3]. В другом определении здоровье представляется как способность поддерживать гомеостаз, возвращаться к исходному нормальному состоянию организма после действия внешних возмущений [3]. Снижение скорости возвращения к нормальному состоянию может выступать количественным показателем ускоренного старения и степени снижения гомеостатического резерва – суммарного объема функциональных резервов организма для поддержания гомеостаза, как показано в работах [1-3]. По расчетам исследователей разных стран мира, здоровье населения на 45-55 % определяется образом жизни (питание, условия труда, материально-бытовые факторы), на 17-20 % - внешней средой, природно-климатическими условиями, на 18-20 % - биологией человека и на 8-10 % - здравоохранением [4-7].

За последние 100 лет в мире число мужчин в возрасте 65 лет повысилось в 7 раз, в возрасте 85 лет - в 31 раз [8]. В развитых странах Евросоюза, США, Канады, Австралии и Новой Зеландии ожидаемая продолжительность жизни мужчин при рождении в 2003 г. была равна 74-77 годам, а уже в 2016 г. средняя продолжительность предстоящей жизни составила 79,5 ± 1,5 года. В России в настоящее время она составила 67 лет, а в Москве достигла 73 лет, что убедительно свидетельствует о большом значении качества жизни и состояния здравоохранения в стране. Существует прямая связь продолжительности жизни с доходами на душу населения [1, 2, 7, 9]. Рассчитано, что при увеличении личного потребления (расходов на питание, лекарства, отдых, одежду и др.) на каждые 1000 долларов США в год можно ожидать увеличения средней продолжительности жизни примерно на 1 год [9]. Это следует также и из данных работ [1, 2, 7].

С улучшением здравоохранения и наблюдаемой в мире тенденцией увеличения средней предстоящей продолжительности жизни (СППЖ) в разных странах все большее число исследователей обращается к вопросам оценки здоровья у специфических когорт здоровых людей, отобранных строгой медицинской комиссией на основе оптимального состояния различных функциональных систем. Это, как правило, относится к отобранным контингентам летчиков, космонавтов, подводников, другим подразделениям особого риска. Значительное число исследований посвящено здоровому образу жизни и факторам, способствующим как можно более длительному сохранению хорошего здоровья и долголетию. Анализу здоровья у здоровых людей посвящена специальная наука – валеология, а максимально возможную продолжительность жизни (ПЖ) человека по отдельным странам и континентам отслеживают геронтология и демография [1, 2, 4, 5, 7, 10].

Специфические задачи исследования

При постановке задачи данной работы, включающей сопоставление ПЖ населения СССР (России) и США, а также космонавтов и астронавтов из этих стран, следует учитывать, что реально это когорты, исходно отобраны с лучшим здоровьем. Кроме того, в профессии космонавты и астронавты работают в течение 1–3 лет и в этот период подвергаются дополнительному повышенному риску снижения здоровья за счет действия факторов в космическом полете. После окончания карьеры они подвергаются в дальнейшем менее выраженным, но более длительным по времени наземным стрессовым воздействиям в течение 30–60 лет в России и США.

Для проведения указанных сравнений и сопоставления функций дожития российских космонавтов и астронавтов США необходимо рассмотреть количественно соотношение суммарных рисков действия экологических и социальных факторов на Земле, а также радиационных и других рисков в условиях космических полетов (КП). Следует иметь в виду, что фактически в течение большей части жизни космонавты живут в условиях с лучшим качеством жизни: лучшей экономической обеспеченностью в семье, большей доступности отдыха, медицинскому обслуживанию и др., — что способствует большей ПЖ по сравнению с обычным мужским населением в России. Все это относится и к сравнительному анализу ПЖ астронавтов и населения США.

В работах [1, 2] рассмотрены основные представления и модели, определяющие процессы обычного и ускоренного старения при действии различных экстремальных факторов. В этих работах и в работах [11, 12] рассмотрено до 40 различных показателей для ряда ведущих систем организма. Выявлено, что в процессе обычного нормального старения

функциональная способность различных систем организма у мужчин с 30-летнего возраста снижается по линейному закону. В этом возрасте происходит отбор и зачисление в отряд космонавтов в СССР (России) и астронавтов в США, начинается космическая деятельность. Этому возрасту присущи максимальная функциональная способность центральной нервной системы (ЦНС), сердечно-сосудистой системы (ССС), иммунной, эндокринной и ряда других систем. Максимальный объем функциональных резервов организма и его регуляторных способностей обеспечивается за счет хорошего состояния сосудов, системы кровообращения кандидата на момент зачисления его в отряд космонавтов.

В ряде монографий [1, 5–7, 13, 14] подробно рассматриваются функциональные изменения, связанные с процессом старения организма в норме при отсутствии экстремальных внешних воздействий, включая изменения на молекулярном, клеточном и тканевом уровнях, — это вопросы изменения скорости синтетических процессов, изменения порогов чувствительности нервной системы и анализаторов, возрастные изменения нейроэндокринной регуляции, иммунного статуса организма и изменение его общей устойчивости.

На основе широкого обобщения результатов экспериментальных радиобиологических исследований, проводившихся в различных лабораториях мира на большом числе различных животных при их облучении в широком диапазоне и мощностей доз в период 1950-1970 гг., в связи с ядерной угрозой после бомбардировок японских городов Хиросимы и Нагасаки нами разработаны модели формирования радиационного поражения различных систем организма с учетом восстановительных и компенсаторных процессов. Наряду с этим была создана модель радиационной скорости смертности млекопитающих, определяющая закономерности изменения возрастных коэффициентов смертности животных и сокращения продолжительности жизни после острых и продолжительных облучений в различных дозах [1, 15].

На основе модели радиационной скорости смертности млекопитающих в указанных работах доказано, что суммарный объем компенсаторных резервов организма с возрастом снижается по экспоненциальному закону за счет процессов обычного старения и что этот процесс ускоряется после острых и хронических облучений с различной мощностью дозы γ (c3в/cyт) и может быть описан выражением

$$Q = Q_0 \exp[-\lambda_0 - B_0(y)^s] t = Q_0 \exp[-\lambda_0 t - B_0 H_0(y)^{s-1}], (1)$$

где λ_0 — показатель, определяющий степень снижения первоначального объема компенсаторных резервов Q_0 за счет обычного (оптимального) процесса старения; H_0 — функционал обобщенной дозы,

используемый для оценки суммарной радиационной опасности космических излучений и других факторов КП в отношении оценки риска отдаленных последствий. Обобщенная доза была введена для приведения сложного характера радиационного воздействия в условиях КП к стандартным условиям облучения на Земле [1, 15–17]; $B_{\rm p}$ – радиационный показатель, который на основе экспериментальных данных установлен равным 0,36/3в.

Степень снижения суммарного объема компенсаторных резервов организма определяется как величиной обобщенной дозы $H_{\rm O}$, так и мощностью дозы γ . Лишь в определенном диапазоне мощностей доз, при которых показатель степени δ близок к 1,0, выполняется соотношение $Q=Q_0\exp\{-\lambda_0\ t-B_0\ H_0\}$.

Для закона, определяющего зависимость коэффициента смертности $\mu^{\text{рад}}(t)$ облученных животных в зависимости от времени, получим в общем виде выражение

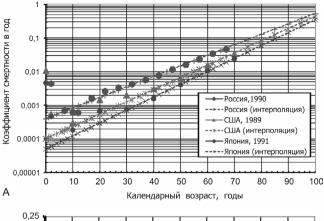
$$\mu^{pag}(t) = \mu(t_0) \exp[B_p H_0],$$
 (2)

где μ (t_o) — значение коэффициента смертности для нормальных условий жизнедеятельности для возраста (t_o), соответствующего началу облучения.

На основе этой модели в цикле работ [1, 15, 17] представлен алгоритм и ряд соотношений для вычисления значений суммарного радиационного риска в течение всей жизни космонавтов и возможного сокращения средней предстоящей продолжительности жизни (СППЖ) после радиационного воздействия в условиях космического пространства в суммарной обобщенной дозе H_0 В работах [1, 15] проведены расчеты суммарного радиационного риска в течение жизни космонавтов, риска развития опухолей и оценено возможное сокращение продолжительности их жизни после завершения межпланетного полета к Марсу в период максимума солнечной активности (СА) и после орбитальных полетов на орбитальной станции (ОС) «Мир» и Международной космической станции (МКС) различной продолжительности.

На основе данных демографической статистики [18] рассмотрен характер изменения с возрастом коэффициентов смертности мужского населения России, США и Японии в 1989—1990 гг. (рис. 1, А). Эти данные были использованы при расчетах суммарного радиационного риска в течение всей жизни космонавтов (астронавтов) этих стран в возрасте 40 лет после завершения полетов в зависимости от обобщенной дозы H_0 (см. рис. 1, Б) [1, 15, 18].

Как видно из данных, представленных на рис. 1, Б, суммарный радиационный риск линейно зависит от величины обобщенной дозы. Максимальная оценка суммарного радиационного риска для космонавтов России составляет 13 % на 1 Зв. Близкое значение риска в расчете на 1 Зв обобщенной дозы имеет



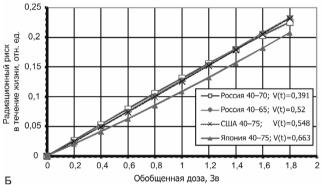


Рис. 1. Зависимость коэффициентов смертности населения ряда стран от возраста (A) и суммарного радиационного риска для космонавтов России и астронавтов США и Японии в возрасте 40 лет от величины обобщенной дозы (Б)

место и для американских астронавтов -12,5 %, а для астронавтов Японии не превышает 11 %.

Расчеты, проведенные в работах [1, 15, 17] по суммарному радиационному риску и риску развития опухолей в течение всей жизни у космонавтов различных возрастов на основе значений среднетканевых и обобщенных доз, впервые показали, что суммарный радиационный риск для космонавтов в возрасте 40 лет в 3 раза выше, чем расчетное значение канцерогенного риска. С возрастом эта разница увеличивается.

Для возраста 50–55 лет суммарный радиационный риск оказывается больше риска опухолей уже в 8–10 раз. При использовании расчетов риска канцерогенеза на основе эффективных доз после осуществления КП, происходит многократная недооценка реального суммарного радиационного риска, что было отмечено нами в этих работах и в нормативном документе, обосновывающем пределы доз для космонавтов за всю их профессиональную деятельность [17].

Подробно проведенный в работах [1, 15, 17] анализ представленных в литературе данных о неопухолевой отдаленной патологии на примере 30–50-летнего наблюдения здоровья жителей

Хиросимы и Нагасаки после бомбардировок, эпидемиологических обследований работников ПО «Маяк», столь же длительно работавших на предприятии, 25-летнее обследование здоровья ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС отчетливо продемонстрировал более ускоренный процесс развития нарушений в ЦНС, ССС, эндокринной и иммунной системах организма, снижение суммарного объема функциональных резервов организма, увеличение частоты заболеваний в системе кровообращения.

В недавно опубликованной работе [19] представлен анализ данных длительных эпидемиологических наблюдений, осуществленных в различных лабораториях России, США, Европы, Японии, и проведено обобщение материалов исследований относительно риска смертности от кардиоваскулярных болезней, обусловленных радиационным фактором. Для нескольких многочисленных когорт рассмотрены эффекты тотального внешнего облучения суммарной дозой менее 0,5 Зв при мощностях дозы менее 1 с3в/сут. Отечественными исследователями коэффициент радиационного риска кардиоваскулярных болезней для России оценивается равным $8,5 \pm 4,5 \%$ на 1 3в. Коэффициент пожизненного радиационного риска из-за канцерогенеза для мужчин России в возрастных группах от 30 до 50 лет составляет 2,4-4,6 %. По данным длительных эпидемиологических наблюдений коэффициент суммарного пожизненного радиационного риска на 1 Зв от канцерогенных и неканцерогенных болезней находится в диапазоне 10,9-13,1 %. Пожизненный суммарный радиационный риск оказывается в среднем в 3 раза более высоким, чем только канцерогенный риск.

Следует обратить внимание на то, что рассчитанные нами впервые для космонавтов в течение их жизни величины суммарного радиационного риска на 1 Зв по модели, основанной на экспериментах с большим количеством мелких лабораторных животных (МЛЖ), с точностью до единиц процентов совпали с результатами многолетних эпидемиологических исследований, проведенных сотрудниками институтов гигиены труда многих стран. Данные гистологии уникального 14-летнего «Хронического эксперимента» на собаках по их облучению, моделирующему условия радиационного воздействия на космонавтов при полете к Марсу и эксперименты на МЛЖ показали, что при длительном облучении имеют место серьезные изменения сосудов в сердце, легких, печени и в почках. Это позволило нам предположить, что кроме известного ранее радиационного риска канцерогенеза могут существенно в большей степени возрастать радиационные риски кардиоваскулярных болезней, инфарктов и инсультов, что подтверждается вышеприведенными данными [1, 15, 17, 19].

Исследование, проведенное в работе [20] по изучению изолированного и комплексного воздействия на мышей фракционированного у-облучения в дозе 350 сГр в течение 70 сут и в последующем в течение 70 сут химического фактора (3 соединений ацетона, ацетальдегида и этанола на уровне $\Pi \Delta K_{\Pi K A}$), моделирующих аналогичные воздействия на космонавтов при полете к Марсу, обнаружило в период действия факторов и в течение 90 сут после их окончания выраженное напряжение и даже перенапряжение регуляторных систем для компенсации изменений в системе кроветворения, энергетическом обмене эритроцитов и поддержании их антиоксидантной системы. По степени выраженности напряжения регуляторных систем изменения соответствовали состоянию неудовлетворительной адаптации по градации, предложенной в работах Р.М. Баевского [21, 22]. Был получен синергический эффект сочетанного воздействия радиационного и химического факторов, при котором коэффициент модификации радиационного ответа в выражении для обобщенной дозы оценивался равным 2,0.

В работах [1, 15, 23] представлены расчеты суммарного радиационного риска при 720-900-суточном полете к Марсу в период максимума солнечной активности за защитой 30 г/см² алюминия (при быстром пролете через радиационные пояса Земли). Суммарный радиационный риск дополнительной смертности за счет галактических космических лучей (ГКЛ) и солнечных космических лучей (СКЛ) был оценен равным 4,5-5,6 % и не зависел от возраста космонавтов, сокращение СППЖ составляет 1,5-1,9 года. При годовом орбитальном полете на ОС «Мир» и МКС суммарный радиационный риск для космонавтов в течение их жизни оценивается равным 2 %, а сокращение СППЖ для космонавтов в возрасте 30-50 лет - 0,67 и 0,51 года соответственно.

Расчеты обобщенных доз от ГКЛ и вторичных излучений, проведенные нами на основании работ [1, 15, 23] и работы [24], показали, что максимальные дозы за 2-недельную экспедицию к Луне в период минимума солнечной активности (СА) за защитой из алюминия 10 г/см² не превысят 2,2 сЗв (это максимальная оценка для орбиты вокруг Луны, поскольку на поверхности Луны мощность дозы приблизительно в 2 раза меньше). Суммарный радиационный риск за одну экспедицию не превысит 1 %. При кратковременном 14-суточном полете на Луну в период максимума СА обобщенная доза от ГКЛ будет приблизительно в 2 раза ниже.

Расчеты показывают, что обобщенная доза от СКЛ за защитой даже 10 г/см² алюминия с учетом быстрых восстановительных процессов на клеточном уровне в обновляющихся тканевых системах для наиболее мощного солнечного протонного события (СПС) августа 1972 г. (20-го солнечного цикла) и

суммы 3 мощных событий октября 1989 г. (21-го солнечного цикла) не превышает 5 сЗв. Суммарный радиационный риск в течение жизни от СПС при наличии такой защиты в спускаемом аппарате составит 0,7–1,0 %. В пилотируемом корабле на орбите вокруг Луны при более сильной радиационной защите в радиационном убежище риск будет еще меньше.

Таким образом, суммарный радиационный риск от ГКЛ и СПС не превысит за 14 сут полета 1,5 %. Следует учитывать также отмеченный в работе [25] синергический неблагоприятный эффект длительного действия невесомости и тяжелых ядер ГКЛ на состояние сосудистой стенки и на дополнительный риск развития кардиоваскулярных болезней, болезней системы кровообращения (БСК), которая является ведущей причиной смертности мужчин на Земле и отмечается у космонавтов и астронавтов [26–31]. При возможном действии химического загрязнения, невесомости и других стрессовых факторов полета на здоровых отобранных индивидуумов суммарный риск в течение жизни космонавтов от комплекса факторов, вероятно, не превысит 5 %.

Рассмотренные ведущие причины дополнительной смертности у космонавтов после завершения орбитальных, межпланетных полетов и завершения периода их профессиональной деятельности, в основном, касались суммарного риска для космонавтов при действии радиационных факторов КП.

Модель, описывающая характер изменения компенсаторных резервов организма и ускоренное старение при хроническом действии ряда экологических и социальных факторов на Земле

С помощью сформулированной модели радиационной скорости смертности млекопитающих удалось успешно прогнозировать характер изменения возрастных коэффициентов смертности после острых радиационных воздействий в различных дозах и хронических облучений с различной мощностью дозы [1, 15]. Однако эта модель неспецифична по отношению к действующему внешнему стрессорному фактору и в соответствии с концепцией Г. Селье о развитии общего адаптационного синдрома [32] может быть использована при рассмотрении хронического действия на организм других факторов отдельно или при их одновременном действии.

В работах [1, 2] была сделана попытка развития модели радиационной скорости смертности млекопитающих и представлены аналитические выражения, описывающие закономерное изменение зависимости от возраста компенсаторных резервов организма и коэффициентов смертности в условиях длительного действия других неблагоприятных антропогенных факторов на человека. Рассмотрены риски дополнительного воздействия микроволнового электромагнитного излучения (ЭМИ) слабых нетепловых интенсивностей с плотностью потока

энергии (ППЭ) в пределах 1–1000 мкВт/см² на животных, на профессиональных работников и население. Проанализированы риски химического загрязнения воздушного бассейна за счет широкой сети автомобильного транспорта, выбросов предприятий и в случае резкого ухудшения социальных условий, качества жизни населения (социального стресса) при кардинальных экономических преобразованиях в стране.

Мы предположили, что изменение компенсаторно-восстановительного потенциала организма Q(t), определяющего его адаптационные возможности и жизнеспособность в условиях протяженного воздействия радиации и других факторов, может быть записано, по аналогии с уравнением (1) следующим образом:

$$Q(t) = Q_0 \exp\{-(\lambda o + B_p \gamma + B_{\gamma MM} I_{\gamma MM} + Bx Ix + \sum Bc_i Ic_i)t\},$$
(3)

где λo — определяет скорость снижения суммарного объема функциональных резервов организма в результате оптимального, протекающего с наименьшей скоростью процесса старения в благополучных странах или регионах при нормальных экологических условиях, высоких параметрах качества жизни, высоком уровне здравоохранения и медицинского обеспечения; $I_{\text{\tiny ЭМИ}}$ – обобщенный показатель интенсивности воздействия микроволнового излучения низких нетепловых интенсивностей с соответствующей характеристикой плотности потока энергии $(\Pi\Pi \exists)$, мкВт/см²; *Ix*, *Ic* – обобщенные характеристики интенсивности химического загрязнения воздушного бассейна и социального стресса, связанного с ухудшением качества жизни населения; $B_{r'}$, $B_{9MM'}$, Bx, Вс. - коэффициенты, определяющие скорость экспоненциального снижения суммарного объема резервов организма за счет ионизирующих и микроволнового излучений, химического загрязнения и социального стресса.

Вероятность гибели организма, как было показано выше, обратно пропорциональна величине компенсаторных резервов организма. Соответственно выражение зависимости скорости смертности от возраста на нарастающем экспоненциальном участке в случае сложной экологической обстановки $\mu^{\mathsf{эко}}(t)$ может быть записано следующим образом:

$$\mu^{\text{sko}}(t-t_0) = \mu(t_0) \exp\{[(\lambda_0) + B_P \gamma + B_{\text{3MM}} I_{\text{3MM}} + B_X I_X + \sum Bc_i Ic_i)](t-t_0)\}, \tag{4}$$

где t_{o} – время или возраст начала действия экстремальных факторов.

Все эти факторы приводят к ускоренному старению так, что приращение логарифмов

коэффициентов смертности происходит пропорционально интенсивности действующих факторов. Как было обосновано в работах [1, 2], значение коэффициента B_{p} , связанное с действием ионизирующих излучений, равно 0,36/3в. В этих работах и в работах [33-36] на основе анализа имеющихся в литературе экспериментальных данных за период 1960-1990 гг. об опасности хронического действия микроволнового излучения низких нетепловых интенсивностей продемонстрирована возможность установления также значений коэффициента $B_{\text{эми}}$ Это данные длительных экспериментальных исследований на животных и длительных эпидемиологических наблюдений за людьми, производящими сверхвысокочастотное (СВЧ) оборудование или обслуживающими антенные устройства на кораблях и аэродромах, которые работали в полях ЭМИ в пределах допустимых нормативных значений [37].

Действительно, при различных значениях ППЭ в пределах 20–1000 мкВт/см² установлено, что, как и при воздействии ионизирующих излучений (ИИ), имеет место прямое действие ЭМИ на мозг (непосредственное повреждение нейронов в коре головного мозга, подкорковых ганглиях, гипоталамусе), на изменение проницаемости гематоэнцефалического барьера, на память и состояние условно-рефлекторной деятельности. Показаны отчетливые изменения импульсации корковых нейронов под влиянием микроволнового облучения, что может приводить к нарушению передачи информации в структуры мозга, ответственные за регуляторные процессы в организме и его адаптационный ответ [33, 34, 38–40].

Одной из систем, наиболее рано и закономерно вовлекаемых в ответную реакцию организма на воздействие различных факторов внешней среды, в том числе и при воздействии ЭМП, является гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая система (ГГНС). Как и при действии ИИ, при длительном воздействии ЭМП различной интенсивности в начальном периоде происходит активация гормональной активности гипофиза, повышается уровень гормонов коры надпочечников, щитовидной и половых желез. Степень гормональной активации и глубина изменений в организме оказываются непосредственно зависимыми от интенсивности ЭМИ. При более высоких значениях ППЭ наблюдается напряжение и даже перенапряжение регуляторных систем, происходит быстрое истощение компенсаторных возможностей организма и наблюдается прогрессирующее увеличение частоты различных заболеваний [1, 33–36].

Эпидемиологи, длительно наблюдавшие за здоровьем людей, профессионально работающих в полях ЭМП, определяли более высокие частоты заболеваемости со стороны ЦНС и ССС. Отмечаемые повреждения со стороны иммунной системы

приводили к увеличению частоты аутоиммунных заболеваний. Все это свидетельствует об ускоренном старении. Авторы исследований [33–36] оценивают возможное сокращение СППЖ на 4 и более лет, что соизмеримо с представленными выше оценками сокращения СППЖ от воздействия космических излучений при длительных орбитальных полетах и при полете на Марс.

В работе [1] рассмотрены различные показатели интенсивности химической нагрузки на население, связанные с загрязнением воздушного бассейна, но наиболее удобными для сопоставления со здоровьем населения различных регионов страны оказались ежегодные данные, представляемые Госкомстатом и Министерством природных ресурсов по суммарным выбросам вредных веществ в атмосферу W в тыс. тонн в год от промышленных предприятий и особенно от транспорта в регионах с широко развитой транспортной сетью. Выражение для обобщенного показателя интенсивности химической нагрузки в этом случае будет иметь вид

$$I_{x} = ln \left(W/W_{\Pi} \right)$$
 при $W > W_{\Pi'}$ (5)

где W_{Π} – пороговое значение выбросов за год, при увеличении которого отмечается достоверное ухудшение показателей здоровья населения.

В работе [1] проанализирован характер нарастания логарифмов коэффициентов смертности в ряде крупных промышленных центров России с развитой транспортной сетью и высоким уровнем загрязнения воздуха [41-43]. Показано отчетливое нарастание коэффициентов смертности за период с 1961 по 1991 г. В течение 30 лет значения коэффициентов смертности увеличились почти на 60-70 % (более 2 % в год). Такая тенденция отсутствовала во многих странах Европы, в США, Канаде, Японии. В том, что это может быть связано не только с постарением населения, но и с химическим загрязнением окружающей среды, убеждают результаты проведенных в данных работах оценок риска дополнительной смертности от химического загрязнения воздушного бассейна.

В процессе анализа мы провели ранжирование 75 городов (административных центров) по мере уменьшения объемов выбросов вредных веществ в атмосферу в 1991 г. В 60 из них уровень выбросов был выше W_{Π} . На основе полученных значений для этих городов приращения за год логарифмов коэффициентов смертности, которое пропорционально интенсивности химической нагрузки, мы оценили значение коэффициента B_{χ} . Вычисленное из формулы $\Delta ln \ [\mu(t)]/\Delta t = B_{\chi} \ ln(W/W\Pi)$, значение B_{χ} оказалось равным 0,009/год.

В работе [1] показаны более высокие значения риска загрязнения окружающей среды в крупных городах с широкой сетью транспорта, который

оценивается в несколько раз большим, чем радиационный риск для работников атомной промышленности. Если предположить, что указанные выбросы вредных веществ действовали в течение 20 лет, то предполагаемые расчетные величины сокращения продолжительности жизни могут в значительной степени объяснить снижение на 10 лет у мужчин и на 6 лет у женщин продолжительности жизни в СССР и России по сравнению со странами Западной Европы и США к периоду 1990—1991 гг. [1, 2, 41—43].

Таким образом выражение (4) может быть представлено в виде

$$\mu^{\text{sko}}(t - t_0) = \mu(t_0) \exp\{[(\lambda_0) + 0.36 \, \gamma + B_{\text{3MM}} \, I_{\text{3MM}} + 0.009 \, \ln(W/W\pi) + \Sigma B_{\text{Ci}} \, I_{\text{Ci}})] \, (t - t_0)\}$$
 (6)

В работах [1, 2, 7] проведен также анализ повышения заболеваемости и смертности населения России в период 1990—2006 гг. в результате коренных экономических преобразований, серьезного ухудшения экономического положения в семьях, резкого увеличения социального стресса и психоэмоциональной напряженности в обществе, что также позволяет проводить оценки коэффициентов B_{G} в выражении (6).

Данные, представленные в работах [1, 2, 7], продемонстрировали более значительные приращения коэффициентов смертности населения России в результате развившегося после 1990 г. социального стресса в стране по сравнению с другими рассмотренными факторами. Это надо учитывать при построении функций дожития 30-летних когорт мужского населения России и аналогичных когорт космонавтов.

Интересно сопоставить данные по изменению состояния здоровья космонавтов, осуществлявших орбитальные КП и контрольной группы кандидатов в космонавты, прошедших строгое медицинское обследование, обучение и специальную подготовку по одинаковой программе. Целью специальной работы [44] было изучение возможных функциональных нарушений и заболеваемости у космонавтов в отдаленном периоде, связанных с воздействием комплекса стрессовых факторов в условиях КП. Для анализа изменений использовались исходные данные 33 космонавтов-мужчин при первичном отборе (основная группа) и 58 прошедших отбор кандидатов в космонавты (контрольная группа). В дальнейшем проводили сравнение нарушений здоровья и заболеваемости в этих группах при ежегодном динамическом наблюдении: учитывались результаты пред- и послеполетных клинико-физиологических обследований (КФО) и данные медицинских обследований во время КП. Анализировали в динамике массу тела, состояние ЦНС и ССС, переносимость нагрузочных проб, биохимические показатели крови, заболеваемость и др.

В отдаленном периоде после первоначального отбора изменения в основном соответствовали возрасту. Тем не менее были отмечены большие частоты функциональных нарушений и заболеваемости со стороны ССС (вегетососудистая дистония, гипертоническая болезнь и др.) в основной группе примерно в 2 раза, а у кандидатов в космонавты (в контроле) более чем в 4 раза. По биохимическим показателям в контрольной группе отмечены более высокие уровни общего холестерина, липопротеидов высокой плотности и триглицеридов. Гипертоническая болезнь возникала только у обследованных контрольной группы. Как отмечают авторы работы [44], длительное ожидание включения кандидатов в космическую деятельность вызывало у них длительное эмоциональное напряжение, которое явилось причиной регуляторных нарушений и возникновения гипертонической болезни. В последующем эти изменения приводили к отрицательным экспертным решениям.

В основной группе космонавтов, совершавших длительные орбитальные полеты в отдаленном периоде, выявлена несколько большая (по сравнению с контрольной группой) частота функциональных изменений и заболеваний ЛОР-органов и органов зрения. Это можно связывать с воздействующими факторами, присущими КП. Следует отметить, что у 25 % участников длительных орбитальных полетов наблюдали в отдаленном периоде заболевания органов дыхания (субатрофические изменения слизистых оболочек верхних дыхательных путей, пневмосклероз и др.). Как считают авторы работы [44], это могло быть связано с особенностями среды обитания и химическими загрязнениями воздуха, приводящими к изменениям реактивности организма и снижением иммунитета космонавтов в длительном КП. Как свидетельствуют данные экспериментальных исследований [20, 45], длительное воздействие отдельных химических соединений на уровне $\Pi \Delta K_{\Pi KA}$ приводит к резкому снижению концентрации лейкоцитов, и особенно лимфоцитов, в крови, более выраженному, чем воздействие ионизирующих излучений, моделирующих уровни воздействия при орбитальных и межпланетных полетах. В указанных экспериментах [20, 41] были отмечены резкое снижение числа лейкоцитов и особенно лимфоцитов при химическом воздействии и в отдаленном периоде, что приводило к усилению воспалительных процессов в органах дыхания – трахеях и бронхах у животных.

В другой работе [46] были продолжены исследования состояния здоровья космонавтов после участия в КП. В этой работе проведен ретроспективный анализ смертности космонавтов в отдаленном периоде по различным причинам и сравнение со смертностью населения в целом по России и, в частности, в Московской области, где в основном проживают

космонавты. Сравнение проведено на основе расчетных значений стандартизованного относительного риска (СОР) для отдельных когорт космонавтов и населения в целом по России и Московской области.

Несмотря на не очень высокую точность получаемых значений СОР, рассматриваемых в работе [46], в связи с ограниченной статистикой числа космонавтов в группах и особенно числа умерших космонавтов по различным причинам, связанным с развитием болезней системы кровообращения (БСК), злокачественными новообразованиями (ЗН), внешними причинами (ВП), а также с резкими изменениями возрастных коэффициентов смертности населения России в период кардинальных экономических преобразований с 1990 до 2014 г., тем не менее отмечена отчетливая тенденция, что стандартизованные по возрасту показатели смертности в когорте космонавтов значительно ниже по сравнению с аналогичными показателями у мужского населения в целом по России и Московской области. Более четкими и достоверными могут рассматриваться выводы в отношении когорты космонавтов, зачисленных в отряд в 1960-е годы. Для этой когорты мужчин, родившихся до 1941 г., имеется относительно большая статистика по смертности космонавтов, и максимальные значения коэффициентов смертности имеют место в период до 1990 г. еще до резкого изменения возрастных коэффициентов смертности населения России и других субъектов Федерации в отношении смертности из-за БСК и ВП [1, 2].

Вполне понятным и справедливым выглядит вывод авторов работ [40, 42], что более низкий риск смертности в когорте космонавтов по сравнению с мужским населением России можно объяснить исходным преимуществом в состоянии их здоровья, что обеспечивается качественным профессиональным отбором кандидатов в космонавты, высоким уровнем их тренированности, надежной защитой от экстремальных факторов полета, высоким качеством медицинского обслуживания в предполетный и послеполетные периоды.

В недавних работах в последние годы проводится сопоставление функций дожития 30-летних американских астронавтов и российских космонавтов, начинавших космическую деятельность на орбите в 60-е годы [31, 47, 48]. Выживаемость астронавтов и космонавтов сопоставляется с выживаемостью мужского населения США и России. На основе возрастных зависимостей суммарных коэффициентов смертности мужского населения России 1990 г. и населения США 1989 г. (см. рис. 1, А) было проведено сопоставление функций дожития 30-летних когорт мужчин в России и первых отрядов космонавтов, родившихся до 1941 г., которые совершали КП в 60-е годы, с функциями дожития когорт 30-летних мужчин — кандидатов в космонавты, которые

не были допущены к проведению полетов в России. В работе представлено сравнение с аналогичными когортами летавших и не летавших астронавтов и населения США. Кроме того сравнивались суммарные выборки космонавтов (93 человека) и астронавтов США (86 человек).

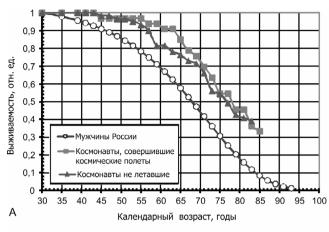
Среди российских космонавтов рассмотрены следующие когорты: выборка из 34 космонавтов, совершавших орбитальные полеты; выборка из 59 космонавтов, прошедших отбор, но не допущенных к реальным полетам, и суммарная выборка из 93 отобранных в отряд космонавтов.

Аналогичные когорты рассмотрены для американских астронавтов: когорты из 36 астронавтов, совершавших орбитальные полеты вокруг Земли, из 23 астронавтов, совершавших полеты к Луне, часть из которых находилась на поверхности от 2 до 75 ч, суммарная выборка из 59 астронавтов, совершавших орбитальные полеты, включая полеты к Луне, выборка из 27 астронавтов, прошедших отбор, но не допущенных к реальным полетам, и суммарная когорта из 86 отобранных в отряд астронавтов.

Использованы данные для первых отрядов космонавтов России и астронавтов США, родившихся до 1941 г., отобранных для КП в среднем в возрасте 30 лет, об их смертности в последующем периоде из-за БСК, 3О, тяжелых и продолжительных заболеваний других этиологий [26—31]. Не учитывались данные о смертности в отдаленном периоде из-за происшествий, не обусловленных изменением здоровья, а связанных с авариями при полетах на самолетах, на транспорте и в быту. Смертность от внешних причин имела большую частоту у астронавтов США, что затрудняло сравнение.

На рис. 2, А представлены функции дожития для космонавтов России, совершавших и не совершавших орбитальные КП, которые сравнивались с функциями дожития для когорты 30-летних мужчин России, а на рис. 2, Б — аналогичные данные для астронавтов и населения США.

Как видно из данных, представленных на рис. 2, А и Б, выживаемость космонавтов и астронавтов выше, чем когорты 30-летних мужчин в этих странах, что связано, как было отмечено в работах [44, 46], с хорошим отбором и более высокими показателями здоровья космонавтов и астронавтов, зачисляемых в отряды для допуска к КП. Можно отметить большую выживаемость астронавтов США по сравнению с космонавтами России, что связано с демографическими показателями, качеством жизни и состоянием здоровья мужчин в этих странах. Частично это обусловлено более длительными полетами вокруг Земли российских космонавтов и большей среднетканевой эквивалентной дозой радиационного воздействия, которая тем не менее была существенно меньше 1 Зв. Наши оценки обобщенной дозы и материалы, представленные



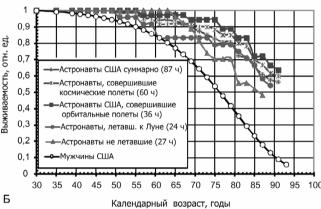


Рис. 2. Функции дожития 30-летних летавших и не летавших космонавтов и мужского населения: А – России; Б – астронавтов и мужского населения США

в данной работе, показывают, что суммарный радиационный риск в результате комплексного действия и других факторов полета не мог превысить 10–15 % [1, 15, 17, 20, 23].

Следует отметить, что недопущение в течение длительного периода к полетам отобранного по состоянию здоровья контингента приводило к развитию у этой группы людей психоэмоционального стресса. Это негативно сказывалось на их здоровье и могло увеличивать риск смертности из-за БСК за счет инфарктов и инсультов, что отмечено ранее в увеличении заболеваемости в работе [44]. Это отчетливо наблюдается у кандидатов в космонавты, не допущенных к полетам (более резкое увеличение смертности в возрастах 55-60 лет (см. рис. 2, А). Такая же тенденция отмечена и у американских астронавтов в возрасте 65-75 лет (см. рис. 2, Б). Анализ данных кривых показывает, что подобные проявления встречаются у 20-30 % индивидуумов, которые, как оказалось, не имеют отличного здоровья, способствующего максимальной продолжительности жизни 70-85 лет, как у наиболее устойчивой части российских космонавтов, и 75-90 лет у аналогичной подгруппы астронавтов США.

Максимальная выживаемость, как это следует из данных рис. 2, Б, характерна для астронавтов, совершавших орбитальные полеты вокруг Земли. Относительная небольшая длительность орбитальных полетов способствовала минимизации риска от нерадиационных факторов полета. Это приводило к существенно меньшим величинам среднетканевых эквивалентных доз от космических излучений и минимальным оцениваемым величинам суммарного радиационного риска (не больше 2 %).

Следует отдельно обратить внимание на когорту астронавтов, совершивших межпланетный полет к Луне. В литературе публикуются материалы об очень высоком риске смертности у этих астронавтов от БСК от инфарктов и инсультов, но при этом рассматривается не вся когорта, а очень маленькая часть, и ранняя смертность касалась всего лишь 3 астронавтов из 7. Мы попытались проанализировать всю когорту, представленную в Википедии «Аполлон» (космическая программа). Эти данные представлены в таблице для экспедиции «Аполлон-8» и «Аполлонов» с 10 по 17, проводившихся в период 1968-1972 г. Все 24 астронавта этих экспедиций благополучно вернулись на Землю. Для построения функции дожития были использованы данные по 23 астронавтам (астронавт под № 10 в Википедии был исключен из анализа, поскольку смертность в возрасте 69,2 года была связана с аварией на мотоцикле). Данные таблицы свидетельствуют, что ранняя смертность из-за БСК имела место в возрасте 56,5 и 61,2 года у астронавтов № 20 и 23. Это составляет 8,7 %. Также 2 ранние смерти в возрасте 51,4 и 74,7 года были связаны с раком костного мозга и крови у астронавтов № 13 и 15. У астронавта № 7 смерть наступила из-за БСК в пожилом возрасте, 82 года, после операции коронарного шунтирования, а у астронавта № 5 в возрасте 87,3 года от пневмонии. Поздняя гибель коснулась 6 человек. Они умерли в возрасте от 82 до 88 лет. 12 астронавтов живы, и к маю 2019 г. их возраст составил от 83 до 91 года. Реально риски ранней смертности из-за БСК и канцерогенеза в сумме составили 17,4 %. Это существенно ниже риска смертности от этих причин для мужчин США.

По данным рис. 2, Б, можно заметить, что у астронавтов, летавших к Луне, риски ранней смертности примерно в 2 раза выше, чем для всей когорты астронавтов США, и в 4 раза выше, чем для астронавтов, совершавших только орбитальные полеты. Поскольку при малой длительности полетов и дозе радиационного воздействия отличия между этими когортами незначительны [1, 15, 23, 24], можно предположить, что такие различия являются следствием дополнительного действия существенно сниженного магнитного поля Луны и возможно сильного эмоционального стресса, связанного с межпланетным полетом.

Возраст выживших к маю 2019 г. астронавтов, летавших к Луне, а также время жизни и установленные причины смертности у части астронавтов, побывавших на космическом аппарате на орбите вокруг Луны и высадившихся на несколько суток на ее поверхность

№ астронавта по Wikipedia и космический аппарат	Время на поверхности Луны, часы	Возраст гибели, годы	Причина гибели по мартирологу и Wikipedia	Возраст выживших на 01.07.2019 г., годы
1. Фр.Б. – «Аполлон-8», 1968 г.	На орбите	-	-	91,0
2. Дж.Л. – «Аполлон-8», 1968 г., «Аполлон-13», 1970 г.	На орбите	-	-	91,0
3. У.А. – «Аполлон-8», 1968 г.	На орбите	-	-	86,0
4. Т.С. «Аполлон-10» 1969 г.	На орбите	-	-	89,0
5. Дж.Я. – «Аполлон-10», 1969 г., «Аполлон-16», 1972 г.	71	87,3-	Пневмония	
6. Юд.С. – «Аполлон-10», 1969 г., «Аполлон-17», 1972 г.	75	82,8	Не указана	
7. Н.А. – «Аполлон-11», 1969 г.	21,5	82	БСК (опер. коронарн. шунтир.)	
8. М.К. – «Аполлон-11», 1969 г.	На орбите	-	-	89,0
9. Эд.О. – «Аполлон-11», 1969 г.	2,5	-	-	89,5
10. Ч.К. – «Аполлон-12», 1969 г.	31,5	69,2	Авария на мотоцикле***	
11. Р.Г. – «Аполлон-12», 1969 г.	На орбите	88,0	Не указана	
12. Ал.Б. – «Аполлон-12», 1969 г.	31,5	86,2	Не указана	
13. Дж.С. – «Аполлон-13», 1970 г.	На орбите	51,4	Рак костного мозга	
14. Фр.Х. – «Аполлон-13», 1970 г.	На орбите	-	-	86,0
15. Ал.Ш. – «Аполлон-14», 1971 г.	33,5	74,7	Рак крови, лейкемия	
16. Ст.Р. – «Аполлон-14», 1971 г.	На орбите	61,3	Панкреатит	
17. Эд.М. – «Аполлон-14», 1971 г.	33,5	85,5	Не указана	
18. Дэ.С. – «Аполлон-15», 1971 г.	67	-		87,0
19. Ал.У. – «Аполлон-15», 1971 г.	На орбите	-		87,0
20. Дж.И. – «Аполлон-15», 1971 г.	67	61,5	CCC (BCK)	
21. Ч.Д. – «Аполлон-16», 1972 г.	71	-		83,0
22. Т.М. – «Аполлон-16», 1972 г.	На орбите	-	-	83,0
23. Р.Э. – «Аполлон-17», 1972 г.	На орбите	56,5	CCC (BCK)	
24. Х.Ш. – «Аполлон-17», 1972 г.	75	-	-	84,0

Примечание. БСК – болезни системы кровообращения; *** – исключен из анализа функции дожития из-за аварии – причины, не связанной со здоровьем.

На рис. 3 представлены функции дожития для суммарных когорт первых отрядов космонавтов России и астронавтов США с близкими значениями общей численности 93 и 86 человек соответственно, которые сравниваются с функциями дожития для 30-летних мужчин России и США (в когорту астронавтов США включены также те, которые летали к Луне, и те, которые находились на поверхности Луны в течение 75 ч). Более детальное и подробное рассмотрение функций дожития за счет большей статистики позволяет еще раз подтвердить выводы, представленные выше при рассмотрении данных рис. 2, А и Б. Выживаемость космонавтов России и астронавтов США существенно выше, чем у 30-летних мужчин в этих странах, и выживаемость астронавтов США и населения США выше, чем аналогичные показатели в России, что связано с лучшими показателями качества жизни, здоровья населения США, меньшими значениями коэффициентов смертности из-за БСК и большими на 10 лет значениями продолжительности жизни мужчин [1, 2, 15]. Тем не менее, как видно из данных рис. 3, функции дожития космонавтов России очень близки к функциям дожития 30-летних мужчин США. Важно отметить, что выживаемость астронавтов, которые совершали межпланетный полет к Луне, к маю 2019 г. составляет 54 % и практически не отличается от выживаемости полной когорты астронавтов 56 % (см. рис. 3).

Проведено сравнение функции дожития космонавтов и астронавтов к периоду мая 2019 г. с публикациями американских исследователей [47, 48], в которых представлены гладкие кривые дожития космонавтов России и астронавтов США (рис. 4).

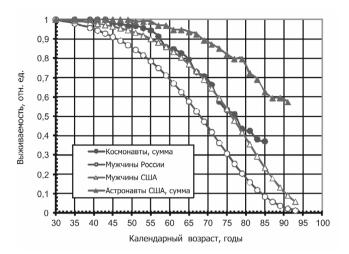


Рис. 3. Функции дожития для суммарных когорт первых отрядов космонавтов России и астронавтов США, сравниваемые с функциями дожития 30-летних мужчин России и США

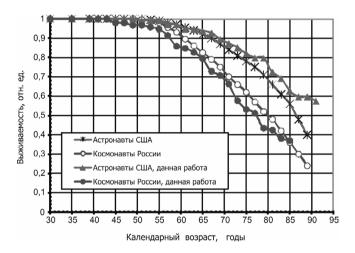


Рис. 4. Функции дожития суммарной когорты космонавтов России и астронавтов США к маю 2019 г. и аналогичные сглаженные кривые из данных работ [47, 48]

Анализируя данные, представленные на рис. 4, можно сделать заключение о близком характере кривых в сравниваемых работах как для космонавтов России, так и астронавтов США. Отличия не превышают 10 % и могут быть связаны со сроком рассмотрения данных о смертности. Для американских астронавтов можно отметить согласие функций дожития до возраста 77 лет. Более сильное снижение, отмеченное в работе [48], для астронавтов при больших возрастах может быть связано с включением в рассмотрение также смертности от внешних причин (гибели при случайных происшествиях в отдаленном послеполетном периоде). В данной работе эти смертности были исключены из рассмотрения.

Выводы

- 1. Выживаемость космонавтов России и астронавтов США существенно выше, чем мужского населения этих стран.
- 2. Отмечена тенденция к большей относительной смертности у кандидатов в космонавты, которые не были допущены к орбитальным полетам, что связывается с развитием длительно действующего на них психоэмоционального стресса.
- 3. Риски ранней смертности у астронавтов, летавших к Луне, примерно в 2 раза выше, чем для всей когорты астронавтов США, и в 4 раза выше, чем для астронавтов, совершавших только орбитальные полеты. Поскольку отличия по длительности полетов и дозе радиационного воздействия между этими когортами незначительны, можно предположить, что это является следствием действия существенно сниженного магнитного поля Луны, и возможно, обусловлено сильным эмоциональным стрессом, связанным с межпланетным полетом.

Работа выполнена в рамках темы фундаментальных исследований РАН № 65.2.

Список литературы

1. Шафиркин А.В., Штемберг А.С., Есауленко И.Э., Попов В.И. Экология, социальный стресс, здоровье населения и демографические проблемы России. Воронеж, 2009.

Shafirkin A.V., Shtemberg A.S., Esaulenko I.E., Popov V.I. Ecology, social stress, public health and demographic problems of Russia. Voronezh, 2009.

2. Шафиркин А.В., Штемберг А.С. Влияние социального стресса и психоэмоциональной напряженности на здоровье мужчин трудоспособного возраста в России // Вестник РГМУ. 2013. \mathbb{N}° 5–6. С. 27–34.

Shafirkin A.V., Shtemberg A.S. The impact of social stress and psycho-emotional tension on the health of working age men in Russia // Vestnik RGMU. 2013. N° 5–6. P. 27–34.

3. *Новосельцев В.Н.* Здоровье, гомеостаз и долголетие // Успехи геронтологии. 2011. Т. 24. № 4. С. 553–562. *Novoseltsev V.N.* Health, homeostasis and longevity //

Uspekhi gerontologii. 2011. V. 24. Nº 4. P. 553–562.

4. *Войтенко В.П.* Здоровье здоровых. Введение в санологию. Киев, 1991.

Voitenko V.P. Healthy health. Introduction to sanology. Kiev, 1991.

5. Руководство по геронтологии / В.Н.Шабалин, ред. М., 2005.

Guide to gerontology / V.N. Shabalin, ed. Moscow, 2005.

6. *Martin G.R., Baker G.T.* Aging and the aged: theories of aging and life extension: Encyclopedia of Bioethics. N.Y., 1993.

7. *Величковский Б.Т.* Жизнеспособность нации. М., 2009.

Velichkovsky B.T. Viability of the nation. Moscow, 2009.

8. *Дедов И.И., Калинченко С.Ю.* Возрастной андрогенный дефицит у мужчин. М., 2006.

Dedov I.I., Kalinchenko S.Yu. Age androgen deficiency in men. Moscow, 2006.

9. *Хавинсон В.Х., Анисимов В.Н.* Пептидные биорегуляторы и старение. СПб., 2003.

Khavinson V.Kh., Anisimov V.N. Peptide bioregulators and aging. St. Petersburg, 2003.

10. *Брехман И.И*. Валеология — наука о здоровье М., 1990.

Brekhman I.I. Valeology – the science of health Moscow, 1990.

11. Ступаков Г.П., Тихончук В.С., Карпов В.Н. и др. Разработка унифицированных методик оценки уровня здоровья и надежности деятельности операторов. Отчет ГНИИИАиКМ. М., 1991.

Stupakov G.P., Tikhonchuk V.S., Karpov V.N. et al. Development of standardized methods for assessing the level of health and reliability of operators. Report of State Research Testing Institute of Aviation and Space Medicine. Moscow, 1991.

12. Человек. Медико-биологические данные. Доклад Рабочей группы комитета 11 МКРЗ по условному человеку. М., 1977.

Person. Biomedical data. Report of the Working Group of Committee 11 of the ICRP on a conditional person. Moscow, 1977.

13. *Комфорт А.* Биология старения / В.В. Алпатов, ред. М., 1967.

Komfort A. Biology of aging / V.V. Alpatov, ed. Moscow, 1967.

- 14. *Фролькис В.В.* Природа старения. М., 1969. *Frolkis V.V.* The nature of aging. Moscow, 1969.
- 15. Шафиркин А.В., Григорьев Ю.Г. Межпланетные и орбитальные полеты. Радиационный риск для космонавтов (Радиобиологическое обоснование). М., 2009.

Shafirkin A.V., Grigoriev Yu.G. Interplanetary and orbital flights. Radiation risk for astronauts (Radiobiological justification). Moscow, 2009.

16. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. «Термины и определения». ГОСТ 25645.201-83. М., 1983.

The safety of the radiation crew of the spacecraft in space flight. «Terms and definitions». GOST 25645.201-83. Moscow, 1983.

17. Ограничение облучения космонавтов при околоземных космических полетах (ООКОКП-2004): Методические указания МУ 2.6.1.44-03-2004. М., 2004.

Cosmonauts' exposure limits for near-Earth space flights (OOKOKP-2004). Guidelines MU 2.6.1.44-03-2004. Moscow, 2004.

18. Ежегодник мировой санитарной статистики-1992. Женева, 1994.

World Health Statistics Yearbook-1992. Geneva, 1994.

- 19. 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.
- 20. Татаркин С.В. Гемопоэз и метаболический статус эритроцитов мышей при длительном комбинированном воздействии ионизирующей радиации и химических веществ, моделирующем условия межпланетных полетов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2013.

Tatarkin S.V. The hemopoiesis and metabolic status of the erythrocytes of mice with prolonged combined exposure to ionizing radiation and chemicals that simulate interplanetary flight conditions: Avtoreferat dissertatsii ... kandidata biologicheskikh nauk. Moscow, 2013.

21. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Донозоло-гическая диагностика // Методы и приборы космической кардиологии на борту Международной космической станции / Р.М. Баевский, О.И. Орлов, ред. М., 2016. Гл. 3 С. 49–66.

Baevsky R.M., Berseneva A.P. Donosological diagnostics // Methods and instruments of space cardiology on board the International space station / R.M. Baevsky, O.I. Orlov, eds. Moscow, 2016. Ch. 3. P. 49–66.

22. Григорьев А.И., Баевский Р.М. Здоровье и космос. Концепция здоровья и космическая медицина. М., 2007.

Grigoriev A.I., Baevsky R.M. Health and space. The concept of health and space medicine. Moscow, 2007.

23. Шафиркин А.В., Коломенский А.В., Митрикас В.Г., Петров В.М. Дозовые нагрузки и величины радиационного риска для космонавтов при экспедиции к Марсу на основе реальных конструкторских разработок марсианского корабля // Авиакосм. и экол. мед. 2010. Т. 44. № 1. С. 5—14.

Shafirkin A.V., Kolomensky A.V., Mitrikas V.G., Petrov V.M. Dose loads and radiation risk values for astronauts during an expedition to Mars based on the actual design of the Martian spacecraft // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2010. V. 44. № 1. P. 5–14.

24. *Кузнецов Н.В., Ныммик Р.А., Панасюк М.И. и др.* Оценка радиационного риска для космонавтов на Луне // Космические исследования. 2012. Т. 50. \mathbb{N}^9 3. C. 224–228.

Kuznetsov N.V., Nymmik R.A., Panasyuk M.I. et al. Radiation risk assessment for astronauts on the Moon // Kosmicheskie issledovaniya. 2012. V. 50. № 3. P. 224–228.

- 25. Hughson R.L., Helm A., Durante M. Heart in space: effect of the extraterrestrial environment in the cardiovascular system // Nature Rev. Cardiol. 2017. Oct.
- 26. Список космонавтов по дате. Порядковый список космонавтов СССР и России. Полная версия: URL: https://spacegid.com/sovetskie-kosmonavtyi.html#ixzz5j6zRmyOU.

List of astronauts by date. The list of astronauts of the USSR and Russia. Full version. URL: https://spacegid.com/sovetskie-kosmonavtyi.html#ixzz5j6zRmyOU.

27. Список астронавтов США – участников орбитальных полетов. URL: ru.wikipedia.org.

List of US astronauts – participants in orbital flights. URL: ru.wikipedia.org.

28. Список космонавтов и астронавтов, совершивших орбитальные и суборбитальные полеты (с энциклопедии).

List of cosmonauts and astronauts who have made orbital and suborbital flights (from the encyclopedia).

29. Список астронавтов США — участников лунных экспедиций. Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org//Список_астронавтов_США — участников_лунных_экспедиций.

List of US astronauts – members of lunar expeditions. Wikipedia. URL: https://ru.wikipedia.org//List_astronavtov_US_ – participants lunar expeditions.

30. Мартиролог астронавтов, космонавтов и кандидатов (по дате смерти).

Martyrology of astronauts, cosmonauts and candidates (by date of death).

- 31. Reynolds R.J., Day S.M., Nurgalieva Z.Z. Mortality among Soviet and Russian cosmonauts: 1960–2013 // Aviat. Space Environ. Med. 2014. Nov. V. 85. № 7. P. 1–5.
- 32. *Селье Г.* На уровне целого организма. М., 1972. *Selye G.* At the level of the whole organism. Moscow, 1972.
- 33. Васин А.Л. Разработка системы обобщенных показателей для характеристики адаптационных процессов в организме при хроническом воздействии электромагнитных полей радиочастот: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2008.
- Vasin A.L. Development of a system of generalized indicators to characterize the adaptation processes in the body during chronic exposure to radio frequency electromagnetic fields: Avtoreferat dissertatsii ... kandidata biologicheskikh nauk. Moscow, 2008.
- 34. Шафиркин А.В., Васин А.Л. Резервы организма, ускоренное старение и сокращение продолжительности жизни человека в условиях длительного действия ЭМП РЧ нетепловых интенсивностей, а также ряда других стрессорных факторов: Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений М., 2007. С. 51–88.

Shafirkin A.V., Vasin A.L. Reserves of the body, accelerated aging, and a decrease in human lifespan under conditions of long-term exposure to electromagnetic fields of RF of non-thermal intensities, as well as a number of other stressful factors: Yearbook of the Russian National Committee for Protection against Non-ionizing Radiations. Moscow, 2007. P. 51–88.

- 35. Nikitina V.N. Hygienic, clinical and epidemiological analysis of disturbances induced by Radio frequency EMF exposure in human body // Proc. from the international workshop: Clinical and physiological investigations of people highly exposed to electromagnetic fields. St. Petersburg, 2000.
- 36. Пальцев Ю.П., Рубцова Н.Б., Походзей Л.В., Тихонова Г.И. Гигиеническая регламентация электромагнитных полей как мера обеспечения сохранения здоровья работающих // Медицина труда и промышленная экология. 2003. № 5. С. 13–17.

Paltsev Yu.P., Rubtsova N.B., Pokhodzey L.V., Tikhonova G.I. Hygienic regulation of electromagnetic fields

as a measure to ensure the health of workers // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2003. № 5. P. 13–17.

37. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.8./2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи». Зарегистрировано в Минюсте РФ 26.03.2003 № 4329.

Sanitary and epidemiological rules and regulations SanPiN 2.1.8./2.2.4.1190-03 «Hygienic requirements for the deployment and operation of land mobile radio communications». Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on March 26, 2003. № 4329.

38. *Холодов Ю.А.* Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. М., 1996.

Kholodov Yu.A. The effect of electromagnetic and magnetic fields on the central nervous system. Moscow, 1996.

39. Лукьянова С.Н. Электромагнитные поля радиочастотного диапазона нетепловой интенсивности как раздражитель для ЦНС ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. М., 2015.

Lukyanova S.N. Electromagnetic fields of the radio frequency range of non-thermal intensity as an irritant for the central nervous system for FSBI SSC FMBC named after A.I. Burnazyan FMBA of Russia. Moscow, 2015.

40. Лукьянова С.Н., Карпикова Н.И., Григорьев Ю.Г., Веселовский И.А. Изучение реакции мозга человека на электромагнитные поля нетепловой интенсивности // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 9. С. 848–854.

Lukyanova S.N., Karpikova N.I., Grigoryev Yu.G., Veselovsky I.A. The study of the reaction of the human brain to electromagnetic fields of non-thermal intensity // Gigiena i sanitariya. 2017. V. 96. Nº 9. P. 848–854.

- 41. Российский статистический ежегодник М., 1992. Russian Statistical Yearbook. Moscow, 1992.
- 42. Социально-экономическое развитие столиц республиканских, краевых и областных центров Российской Федерации М., 1992.

Socio-economic development of the capitals of republican, regional and regional centers of the Russian Federation Moscow, 1992.

43. Картографирование регионов по эколого-медицинским показателям: Отчет по ГНТП «Экология России» М., 1992.

Regional mapping by ecological and medical indicators: Report on the SSTP «Ecology of Russia». Moscow, 1992.

44. Воронков Ю.И., Кузьмин М.П., Крылова В.Ю. и др. Результаты длительного наблюдения за состоянием здоровья космонавтов // Авиакосм. и экол. мед. 2002. Т. 36. \mathbb{N}° 1. С. 41–44.

Voronkov Yu.I., Kuzmin M.P., Krylova V.Yu. et al. The results of long-term monitoring of the health of astronauts // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2002. T. 36. \mathbb{N}° 1. P. 41–44.

45. *Мухамедиева Л.Н., Оганесян М.В., Татаркин С.В. и др.* Морфологические изменения трахеи, бронхов и легких у мышей после длительного комбинированного

радиационного и ингаляционного химического воздействий // Там же. 2014. Т. 48. № 5. С. 13–20.

Mukhamedieva L.N., Oganesyan M.V., Tatarkin S.V. et al. Morphological changes of the trachea, bronchi and lungs in mice after prolonged combined radiation and inhalation chemical effects // Ibid. 2014. V. 48. № 5. P. 13–20.

46. Ушаков И.Б., Воронков Ю.И., Бухтияров И.В. и др. Ретроспективный анализ состояния здоровья космонавтов после участия в космических полетах // Там же. 2016. Т. 50. № 2. С. 14—20.

Ushakov I.B., Voronkov Yu.I., Bukhtiyarov I.V. et al. Retrospective analysis of the cosmonauts' health status after participating in space flights // Ibid. 2016. V. 50. N° 2. P. 14–20.

47. Reynolds R.J., Day S.M. The mortality of space explorers // Into Space: a journey of how humans adapt and live in microgravity / T. Russomano, I. Rehnberg, eds. London, 2018. P. 253–285.

48. *Reynolds R.J., Day S.M.* Estimating the «cosmonaut effect» on natural-cause mortality // Manuscript number LSSR_2019_15 (Reynolds cosmonaut effect.docx [Manuscript File].

Поступила 05.06.2019

LIFE SPAN OF THE USSR (RUSSIAN) COSMONAUTS, US ASTRONAUTS AND RISKS TO HEALTH FROM VARIOUS STRESS-FACTORS ON EARTH AND IN SPACE

Shafirkin A.V.

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

Under discussion are the available health data of the cohort of physically fit 25-30 y.o. males selected to work as pilots, cosmonauts/astronauts and submariners. An exponential reduction of the total compensatory body reserve and increase of death risk after the age of 30 are demonstrated.

The age-related changes in the death coefficients for male populations in Russia, US and Japan derived from demographic statistics over the period of 1989–1990 have been applied to estimate total radiation-induced risks in the crewmembers' post-career lifetime. Survival curves for the NASA astronauts - participants in orbital and Moon missions were analyzed. Total risks to health and of the growth of death coefficients due to environmental and social factors in missions over the period of 1960–2019, and space factors during short careers (1–3 years) with orbital and Moon missions were calculated.

Key words: environmental factors, age-dependent risks model, epidemiologic monitoring, health of professional groups, cosmonauts, post career risks, morbidity and mortality, lifespan.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. № 7. P. 5–18.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 612.812

ПРЕДИКТОРЫ ГОТОВНОСТИ КОСМОНАВТА К ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ МАРСА ИЗ ОПЫТА ОРБИТАЛЬНЫХ ПОЛЕТОВ НА МКС

Фомина Е.В.^{1, 2, 3}, Лысова Н.Ю.¹, Резванова С.К.^{4, 6}, Киреев К.С.⁵, Котов О.В.¹, Новицкий О.В.⁵, Тимме Е.А.^{6, 7}

E-mail: fomin-fomin@yandex.ru

В статье представлены результаты эксперимента с участием 6 космонавтов (возраст 43 ± 2 года, масса тела 84 ± 6 кг, продолжительность космического полета 169 ± 18 сут) с использованием нового локомоторного теста со ступенчато-возрастающей нагрузкой в активном режиме движения полотна дорожки. Данный тест позволяет оценивать ответ вегетативных систем на физическую нагрузку и индивидуальные стратегии локомоций до полета, несколько раз за полет и в первые дни после его завершения. Скорость локомоций возрастает в тесте от 3 до 15 км/ч или до отказа, приращение скорости составляет 1 км/ч каждые 30 с. Регистрируются параметры газообмена (потребление кислорода, выделение углекислого газа, легочная вентиляция) и ответ сердечно-сосудистой системы (частота сердечных сокращений).

Определены индивидуальные перестройки в системах вегетативного обеспечения мышечной деятельности, свидетельствующие об увеличении физиологической стоимости работы после длительного пребывания человека в условиях невесомости. Оценка состояния систем вегетативного обеспечения мышечной деятельности на основе предложенного теста позволит рекомендовать адекватные пути эффективного купирования негативных перестроек в ходе межпланетных миссий и может быть использована при выборе членов экипажа для выполнения деятельности на поверхности другой планеты.

Ключевые слова: невесомость, ступенчато возрастающая нагрузка, газообмен, вегетативное обеспечение мышечной деятельности, физиологическая стоимость нагрузки.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53. № 7. С. 19-27.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-19-27

Одной из проблем гравитационной физиологии, требующей расширения знаний в свете подготовки к межпланетным миссиям, является раскрытие механизмов негативных изменений в гравитационно-зависимых системах во время космических полетов (КП) и после его завершения. Очевидно, что изменения в системе вегетативного обеспечения мышечной деятельности, возникающие в КП, могут явиться фактором, влияющим на успешность протекания процесса адаптации к условиям невесомости и реадаптации к условиям гравитации. Система вегетативного обеспечения мышечной деятельности отражает функции дыхательной, сердечно-сосудистой систем, системы крови и системы утилизации кислорода в мышцах [1]. Во всех вышеперечисленных системах в условиях невесомости развиваются как структурные, так и функциональные перестройки [2-7].

Целью данного исследования явилось определение индивидуальных перестроек, возникающих во время длительного космического полета в системах вегетативного обеспечения мышечной деятельности человека в тесте со ступенчато-возрастающей локомоторной нагрузкой, рассматриваемых в качестве предикторов готовности космонавта к выполнению деятельности на поверхности другой планеты.

Методика

В исследовании приняли участие 6 космонавтов (возраст 43 ± 2 года, масса тела 84 ± 6 кг, продолжительность КП 169 ± 18 сут), 4 космонавта дали согласие на выполнение теста до, после и во время КП (A, Б, B, Г), 2 космонавтов – только до и после КП

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

²Московский педагогический государственный университет

³Российский университет дружбы народов, Москва

⁴Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма, Москва

⁵Центр подготовки космонавтов им Ю.А. Гагарина, Звездный городок, Московская область

⁶Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд Москомспорта, Москва

⁷Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения РАН, г. Омск

(Д, Е). Тестирование выполнялось за 30–60 сут до, на 8–13-е сутки после завершения КП и 3–4 раза за полет, число полетных сессий зависело от программы КП. Разница в сутках послеполетных тестирований обусловлена состоянием космонавтов после КП.

Тест выполнялся на бегущей дорожке БД-2 (ИМБП, Россия) в активном режиме движения полотна дорожки и состоял из 13 ступеней нагрузки от 3 до 15 км/ч или до отказа, приращение скорости составляло 1 км/ч каждые 30 с. В каждом тесте ступенчато-возрастающей нагрузке предшествовало врабатывание в виде интервальной нагрузки с чередованием нескольких отрезков ходьбы со скоростью 3 и 6 км/ч. Данный протокол теста позволяет оценивать изменения, произошедшие в системах вегетативного обеспечения мышечной деятельности в результате длительного пребывания в условиях невесомости во всем спектре нагрузок от минимальных до 15 км в час, и одновременно характеризует индивидуальные стратегии локомоций на каждой ступени нагрузки. Протокол информативен для реализации персонифицированного подхода в купировании негативных изменений в системах вегетативного обеспечения мышечной деятельности во время КП.

Особенностью выполнения теста в КП, является сниженная величина аксиальной нагрузки, что оказывает существенное влияние на мощность выполняемой работы. В этой связи приводятся данные о величине аксиальной нагрузки, обеспечиваемой специальным тренировочно-нагрузочным костюмом во время полетных тестов (таблица).

Оценка изменений в дыхательной системе проводилась на основе данных эргоспирометрии до и после полета с использованием газоанализатора Охусоп Mobile (Jaeger, Германия), включающего теплопроводный датчик для регистрации концентрации углекислого газа и электрохимический — для

кислорода. Анализировались потребление кислорода (VO_2), выделение углекислого газа (VCO_2) и легочная вентиляция (VE) методом breath by breath, т.е. за каждый дыхательный цикл.

Ответ сердечно-сосудистой системы определяли до, после и во время длительного КП по изменению частоты сердечных сокращений (ЧСС) во время нагрузки с использованием прибора «Кардиокассета-2010» (ИМБП, Россия), позволяющего записывать электрокардиограмму. ЧСС рассчитывалась по R-R интервалу за 10 с в минутном цикле. Кислородный пульс рассчитывался как сумма ЧСС за всю ступенчато-возрастающую нагрузку только для случаев достижения космонавтом ступени бега со скоростью 15 км/ч. Синхронизация данных осуществлялась по времени. Регистрация данных эргоспирометрии и электрокардиограммы начиналась за 3 мин до начала движения полотна бегущей дорожки. При анализе временных рядов данных по причине зашумленности сигналов и наличия выбросов в данных был использован метод непараметрической регрессии с локально взвешенным сглаживанием (locally weighted scatter plot smoothing - LOWESS), обладающий свойством робастности, т.е. устойчивости к шумам и выбросам в исходных данных.

Исследование было одобрено Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Все космонавты в соответствии с Хельсинкской декларацией подписали Информированное согласие об участии в эксперименте.

Результаты и обсуждение

Важнейшим эргометрическим показателем работоспособности в локомоторном тесте со ступенчато-возрастающей нагрузкой является показатель максимально достигнутой скорости, этот показатель варьировал в соответствии с уровнем

Таблица

Величины аксиальной нагрузки, обеспечиваемой тренировочно-нагрузочным костюмом во время полетных тестирований

Космонавт	№ сессии					
	1-я полетная	2-я полетная	3-я полетная	4-я полетная		
А	55 кг (63 % масса тела)	55 кг (63 % масса тела)	54 кг (62 % масса тела)	-		
Б	57 кг (77,8 % масса тела)	53 кг (72,3 % масса тела)	57 кг (77,8 % масса тела)	55 кг (75 % масса тела)		
В	56 кг (70 % масса тела)	60 кг (75 % масса тела)	65 кг (81 % масса тела)	67 кг (84 % масса тела)		
Γ	61 кг (74 % масса тела)	60 кг (73 % масса тела)	64 кг (77,1 % масса тела)	_		

Примечание. У космонавтов А и Г 4-я полетная сессия не выполнялась в связи меньшей длительностью полета.

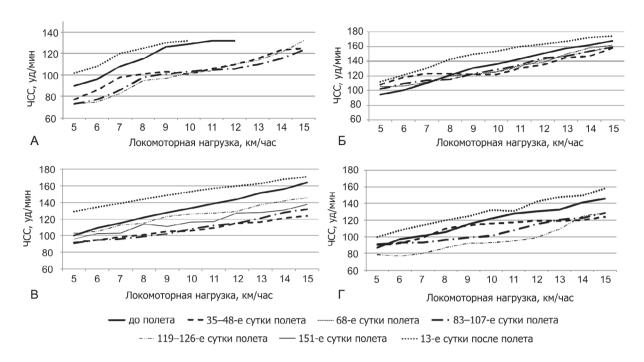


Рис. 1. Показатели ЧСС в полетных, пред- и послеполетных тестированиях: A – космонавта A; B – космонавта B; C – космонавта C.

Здесь и на рис. 2-3: ЧСС приводится как среднее значение за последние 10 с каждой ступени

работоспособности человека как до, так и после длительного КП. Перед КП максимальная скорость составила 12 км/ч (космонавт А), 13 км/ч (космонавт Е), 15 км/ч (космонавты Б, В, Г, Д). После КП были зарегистрированы следующие максимальные показатели скорости бега: 10 км/ч (космонавт А), 12 км/ч (космонавты Д и Е), 15 км/ч (космонавты Б, В, Г). Снижение данного показателя является индикатором снижения физической работоспособности. Важно отметить, что снижение максимальной скорости выявлено у 3 участников эксперимента, остальные сохранили предельно достигнутую скорость бега на предполетном уровне. По всей группе космонавтов показано повышение ответа сердечно-сосудистой системы на ступенчато-возрастающую локомоторную нагрузку после длительного КП. Различия значимы во всем диапазоне скоростей. Оценка кинетики кислородного пульса до и после полета в среднем по группе космонавтов указывает на значительные гипогравитационные перестройки, свидетельствующие о существенном снижении качества снабжения организма кислородом.

Проанализированы индивидуальные кривые ЧСС во время выполнения теста для 4 космонавтов до, после и во время КП (А, Б, В, Г) и для 2 космонавтов до и после КП (Д, Е) в соответствии с Информированным согласием космонавтов на участие в эксперименте. Величина аксиальной нагрузки во время полетных сессий находилась в диапазоне от 62 до 77,8 % от массы тела космонавта на Земле. В этой связи физические параметры нагрузки

во время теста в полете оказываются существенно ниже, чем в условиях нормальной гравитации, соответственно изменяется и ответ систем вегетативного обеспечения мышечной деятельности, в частности, сердечно-сосудистой системы на выполнение теста в полете. Влияние величины осевой нагрузки на степень включения физиологических систем, скорее всего нелинейно, это не позволяет просто нормировать ответ организма на величину аксиальной нагрузки. Сравнительный анализ результатов полетных сессий важен для эффективной профилактики гипогравитационных нарушений в ходе КП с помощью физических тренировок.

Величина осевой нагрузки у космонавта A оказалась сходной во всех полетных тестированиях (в пределах ± 1 %). Кривые, отражающие ответ ЧСС на нагрузку во время КП, расположены довольно близко друг к другу, что свидетельствует о достаточно стабильном ответе сердечно-сосудистой системы в течение всего полета. Необходимо отметить, что данный космонавт, как и все остальные участники эксперимента, придерживался рекомендаций специалистов по выполнению физических тренировок в полете (рис. 1, A).

У космонавта Б аксиальная нагрузка во время полетных тестирований также колебалась незначительно (в пределах 5 %), что позволяет и в этом случае сделать заключение о достаточно стабильном уровне работоспособности на протяжении всего полета, так как значения ЧСС во время миссии колебались в небольшом диапазоне (рис. 1, Б).

У космонавта В величина аксиального нагружения значительно менялась в ходе полетных тестовых сессий от 70 до 84 % от массы тела, нарастая к завершению миссии. Анализ ответа сердечно-сосудистой системы указывает на то, что в тесте с наибольшей аксиальной нагрузкой за полет, выполненном на 151-е сутки миссии, показатели ЧСС оказались ниже, чем на 126-е сутки полета (рис. 1, В). Мы полагаем, что описанное наблюдение отражает особенности тренировок этого космонавта на заключительном этапе полета, когда он не только выполнял рекомендации специалистов, но и значительно повышал величину аксиального нагружения во время тренировок. Кроме этого, этот космонавт активно использовал костюм «Пингвин», обеспечивающий дополнительный сенсорный приток к проприорецептивному входу.

Космонавт Г выполнял все полетные тестирования с близкими параметрами аксиальной нагрузки в диапазоне 74–77 % от массы тела, но при этом пульсовая стоимость работы в каждом следующем тесте оказалась меньше, чем в предыдущем (рис. 1, Г). Снижение пульсовой стоимости нагрузки, по нашему мнению, отражает протекание процессов адаптации систем вегетативного обеспечения к условиям КП.

У космонавтов Д и Е, не выполнявших полетные тестирования, были получены результаты, свидетельствующие об увеличении пульсовой стоимости работы на всех ступенях теста после завершения КП (рис. 2, 3).

Показатели пульсовой суммы за всю выполненную ступенчато-возрастающую нагрузку были проанализированы у космонавтов Б, В, Γ , достигших скорости 15 км/ч в пред- и послеполетных исследованиях. Пульсовая сумма в послеполетных тестированиях превышала предполетную: у космонавта Б она возросла на 11,7 %, у космонавта В — на 14 %, у космонавта Γ — на 9 %. Это отражает существенное повышение физиологической стоимости работы, несмотря на достижение той же максимальной скорости бега, как и до КП.

После миссии были выявлены значительные различия в индивидуальных перестройках параметров газообмена. В этой связи мы посчитали целесообразным привести индивидуальные данные. У космонавта А наблюдали увеличение легочной вентиляции и снижение потребления кислорода (рис. 4).

Увеличение легочной вентиляции после КП, особенно выраженное на ступенях бега с высокими скоростями, отмечали у космонавта Б, при этом потребление кислорода на этих ступенях нагрузки оказалось снижено (рис. 5).

Легочная вентиляция у космонавта В не претерпевала столь значительных изменений после КП, вероятно, это обусловлено менее выраженными изменениями в потреблении кислорода (рис. 6).

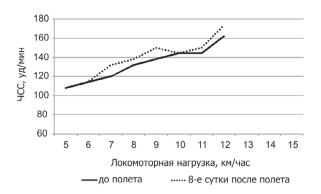


Рис. 2. Показатели ЧСС космонавта Д в пред- и послеполетных тестированиях

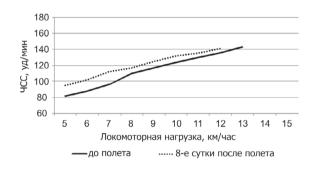


Рис. 3. Показатели ЧСС космонавта E в пред- и послеполетных тестированиях

Можно предположить, что системы вегетативного обеспечения мышц и перестройки в мышечной системе оказались менее выраженными благодаря индивидуальным особенностям физических тренировок во время миссии. Одной из важных особенностей локомоторных тренировок этого космонавта являлась высокая аксиальная нагрузка, что повышает величину физической нагрузки и соответственно требует адекватного включения систем вегетативного обеспечения мышечной деятельности.

Значительное послеполетное увеличение легочной вентиляции космонавта Γ сопровождается сниженным потреблением кислорода по сравнению с результатами теста до полета. Потребление кислорода выходит на плато на скорости бега 13 км/ч и более не растет до завершения теста (рис. 7).

Скорость бега на максимальной ступени теста у космонавта Д составила 12 км/ч, тест был прерван по рекомендации полетного врача, так как ЧСС превышала 170 ударов в минуту, хотя изменения в параметрах газообмена по сравнению с предполетным уровнем на этой ступени теста были выражены незначительно (рис. 8).

Космонавт Етакже прекратил тест на скорости бега 12 км/ч по рекомендации полетного врача, основанной на увеличенном ответе сердечно-сосудистой системы на нагрузку в сопоставлении с предполетным

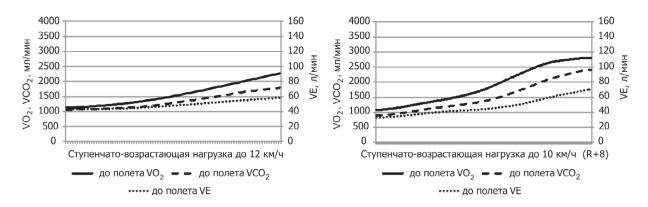


Рис. 4. Показатели газообмена космонавта A до и после КП Здесь и на рис. 5–9: R – сутки послеполетного тестирования в период реадаптации

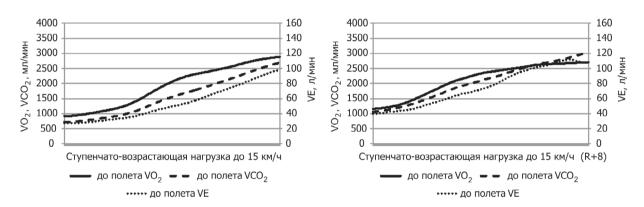


Рис. 5. Показатели газообмена космонавта Б до и после КП

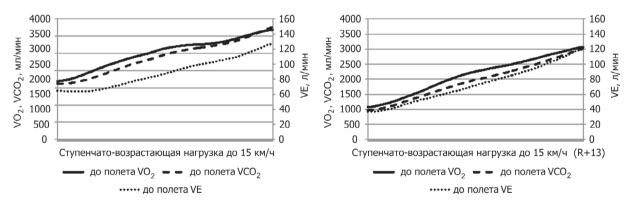


Рис. 6. Показатели газообмена космонавта В до и после КП

тестированием (рис. 9), хотя параметры газообмена изменились не столь значительно.

Другими словами, у космонавтов Д и Е изменения в сердечно-сосудистой системе после длительного КП оказались более выраженными, чем изменение параметров газообмена. Это наблюдение указывает на значительные индивидуальные различия в перестройках систем вегетативного обеспечения и позволяет говорить о реализации правила «слабого звена», когда изменения в одной из физиологических систем лимитируют работу остальных.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о негативных изменениях в гравитационно-зависимых системах вегетативного обеспечения мышечной деятельности, проявляющихся в снижении аэробных возможностей человека после длительного пребывания в условиях невесомости. В первую очередь об этом свидетельствует увеличение ЧСС и соответственно пульсовой суммы указывающие на большую физиологическую стоимость выполненной нагрузки. Повышение легочной вентиляции проявлялось в большей или меньшей

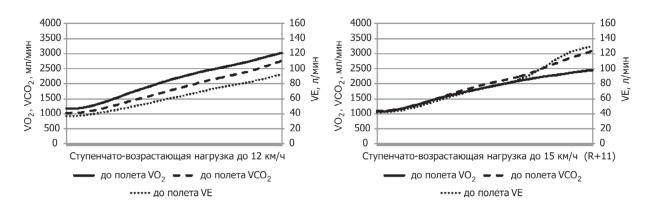


Рис. 7. Показатели газообмена космонавта Г до и после КП

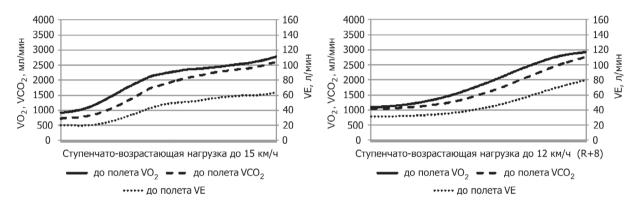


Рис. 8. Показатели газообмена космонавта Д до и после КП

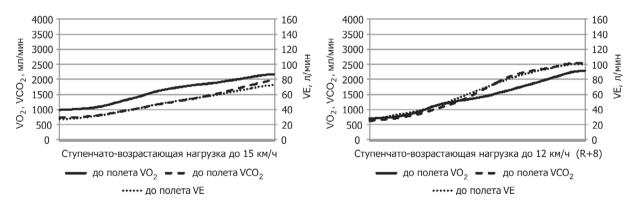


Рис. 9. Показатели газообмена космонавта Е до и после КП

степени у разных космонавтов, при этом потребление кислорода чаще всего снижалось по сравнению с предполетным уровнем, хотя наблюдались и исключения из этого правила, обусловленные, по нашему мнению, индивидуальными особенностями физических тренировок во время полета.

Ряд авторов [5, 8–11] отмечают снижение максимального потребления кислорода после длительного КП при выполнении теста на велоэргометре. Особенности дорожки БД-2 не позволяют нам проводить тестирование до и после КП на скоростях бега превышающих 15 км/ч. В этой связи у нас

отсутствует возможность надежной регистрации такого важного показателя аэробной работоспособности, как максимальное потребление кислорода. В настоящий момент мы оцениваем ответ вегетативных систем и индивидуальные стратегии локомоций только в обозначенном диапазоне скоростей, но и эти результаты позволяют расширить представления о гравитационно-зависимых перестройках в организме человека. Мы полагаем, что во время КП важно определять уровень работоспособности в тесте, где характер нагрузки максимально приближен к предстоящей деятельности на поверхности другой

планеты. Это позволит вносить корректировку в тренировочный процесс и соответственно вывести космонавта на пик формы ко времени высадки на поверхность планеты.

Большинство авторов полагает, что основным фактором снижения максимального потребления кислорода после КП является снижение объема плазмы [5, 8, 11], однако длительное пребывание в невесомости приводит к негативным изменениям во всех системах, обеспечивающих аэробную работоспособность. В системе крови происходит снижение количества эритроцитов, это явление получило название космическая анемия [12]. Снижение содержания эритроцитов в первые дни миссии происходит со скоростью около 1 % в день, однако через 10-15 дней после начала миссии количество эритроцитов стабилизируется на постоянном уровне, и к завершению миссии снижение в среднем составляет 5-25 % по сравнению с предполетным уровнем [12, 13]. В КП происходит уменьшение массы сердца, снижение конечного диастолического объема и сердечного выброса [8, 14]. Изменения в дыхательной системе не столь выражены, хотя отмечено изменение возбудимости дыхательного центра [15]. Показаны изменения и периферических механизмов доставки и утилизации кислорода в мышцах.

Резкое возрастание легочной вентиляции, часто наблюдаемое на заключительных ступенях бега, соответствует компенсации сниженных показателей потребления кислорода. Это может быть обусловлено гравитационно-зависимыми изменениями в системах вегетативного обеспечения мышечной деятельности, сопряженными с диффузией и транспортом кислорода. Вероятно, послеполетные изменения в рекрутировании двигательных единиц, изменения в работе мышц синергистов и антагонистов, включение дополнительных мышц, изменения в моторном контроле увеличивают запрос к вегетативным системам во время выполнения физической нагрузки после длительной космической миссии. Включение в работу быстрых двигательных единиц при меньшей мощности нагрузки приводит к включению анаэробных механизмов энергообеспечения мышечной деятельности.

Ранее уже была предпринята попытка оценки изменений аэробных возможностей человека после длительного КП с использованием штатного локомоторного теста МО-3, выполняемого в пассивном режиме движения полотна дорожки, показавшая, что не все космонавты могут выполнить тест в пассивном режиме движения полотна после полета [16], так как такой режим перемещения полотна и соответственно режим локомоций требует больших затрат энергии. Обычно в исследованиях партнеров по МКС аэробные возможности после длительных космических миссий выполняются с использованием теста на велоэргометре [5, 11], не требующем

поддержания позы тела и включения больших групп мышц, а также сохранения равновесия. Мы полагаем, что при подготовке к межпланетным миссиям важно использовать тест, позволяющий оценивать уровень физической работоспособности при выполнении естественных локомоций, даже если предположить, что перемещение на значительные расстояния по Луне и Марсу будет осуществляться с помощью специальных механизмов.

Результаты исследования свидетельствуют о значительном снижении аэробных возможностей организма человека после длительного КП, несмотря на комплекс профилактических мероприятий, направленных на купирование негативных последствий длительного пребывания человека в условиях невесомости. Физические тренировки во время КП нацелены на компенсацию негативного влиянию невесомости на физиологические системы, обеспечивающие физическую работоспособность. В межпланетной миссии физические тренировки должны быть направлены на достижение пика формы к моменту совершения посадки на поверхность небесного тела. Предложенный локомоторный тест со ступенчато-возрастающей стандартной нагрузкой может быть использован при выборе членов экипажа для деятельности на поверхности небесного тела в межпланетной миссии, когда уровень физической работоспособности может стать решающим фактором успешности миссии.

Выводы

- 1. Негативные изменения в гравитационно-зависимых системах вегетативного обеспечения мышечной деятельности, проявляющиеся в снижении аэробных возможностей человека после длительного пребывания в условиях невесомости, отмечены у большинства космонавтов.
- 2. Ответ сердечно-сосудистой системы на ступенчато-возрастающую локомоторную нагрузку указывает на повышение физиологической стоимости работы после КП. Повышение легочной вентиляции проявлялось в большей или меньшей степени у разных космонавтов, при этом потребление кислорода чаще всего снижалось, по сравнению с предполетным уровнем. Наблюдались и исключения из этого правила, обусловленные индивидуальными особенностями физических тренировок во время полета.
- 3. Отмечены значительные индивидуальные различия в перестройках систем вегетативного обеспечения после длительного КП, что подтверждает перспективность персонифицированного подхода в купировании негативных изменений в системах вегетативного обеспечения мышечной деятельности во время КП.

Работа поддержана грантом РФФИ № 17-04-01826 и Программой фундаментальных исследований президиума РАН № 18 «Биомедицинские технологии: инновационные разработки», проект 0314-2018-0001.

Список литературы

1. Попов Д.В., Виноградова О.Л., Григорьев А.И. Аэробная работоспособность человека. М., 2012.

Popov D.V., Vnogradova O.L., Grigoriev A.I. Aerobic performance in man. Moscow, 2012.

- 2. Smith S.M., Heer L.C., Shackelford J.D. et al. Benefits for bone from resistance exercise and nutrition in long-duration spaceflight: evidence from biochemistry and densitometry // J. Bone Miner. Res. 2012. V. 27. N° 9. P. 1896–1906.
- 3. *Козловская И.Б.* Гравитация и позно-тоническая двигательная система // Авиакосм. и экол. мед. 2017. Т. 51. \mathbb{N}^9 3. С. 5–21.

Kozlovskaya I.B. Gravitation and postural-tonic motor system // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2017. V. 51. \mathbb{N}° 3. P. 5–21.

- 4. Norsk P. Blood pressure regulation IV: adaptive responses to weightlessness // Eur. J. Appl. Physiol. 2014. V. 114. \mathbb{N}° 3. P. 481–484.
- 5. Moore A.D., Downs M.E., Lee S.M. et al. Peak exercise oxygen uptake during and following long-duration spaceflight // J. Appl. Physiol. 2014. V. 117. № 3. P. 231–238.
- 6. Prisk G.K. Microgravity and the respiratory system // Eur. Resp. J. 2014. V. 43. \mathbb{N}^{0} 5. P. 1459–1471.
- 7. Fitts R.H., Colloton P.A., Trappe S.W. et al. Effects of prolonged space flight on human skeletal muscle enzyme and substrate profiles // J. Appl. Physiol. 2013. V. 115. № 5. P. 667–679.
- 8. Levine B.D., Lane L.D., Watenpaugh D.E. et al. Maximal exercise performance after adaptation to microgravity // J. Appl. Physiol. 1996. V. 81. № 2. P. 686–694.
- 9. Moore A.D., Lee S.M., Stenger M.B., Platts S.H. Cardiovascular exercise in the U.S space program: Past, present, and future // Acta Astronaut. 2010. V. 66. N° 7–8. P. 974–988.
- 10. Ade C.J., Broxterman R.M., Barstow T.J. $VO_{(2max)}$ and microgravity exposure: convective versus diffusive $O_{(2)}$ transport // Med. Sci. Sports Exerc. 2015. V. 4. Nº 3. P. 1351–1361.
- 11. Hoffmann U., Moore A.D. Jr., Koschate J., Drescher U. VO_2 and HR kinetics before and after International Space Station missions // Eur. J. Appl/ Physiol. 2016. V. 116. Nº 3. P. 503–511.
- 12. Smith S.M. Red blood cell and iron metabolism during space flight // Nutrition. 2002. V. 18. N^{o} 10. P. 864–866.
- 13. *Kunz H., Quiriarte H., Simpson R.J. et al.* Alterations in hematologic indices during long-duration spaceflight // BMC Hematol. 2017. V. 17. P. 12.
- 14. *Фомина Г.А., Котовская А.Р., Темнова Е.В.* Динамика сердечно-сосудистых изменений в различные

периоды длительного пребывания человека в невесомости // Авиакосм. и экол. мед. 2009. Т. 43. № 3. С. 11–16.

Fomina G.A., Kotovskaya A.R., Temnova E.V. Dynamics of cardiovascular changes in different periods // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2009. V. 43. \mathbb{N}° 3. P. 11–16.

15. Баранов В.М., Котов А.Н., Тихонов М.А. Исследование вентиляторной функции легких и биомеханики дыхания в длительных космических полетах // Орбитальная станция «Мир». Т. 2. Медико-биологические эксперименты. М., 2002. С. 17–24.

Baranov V.M., Kotov A.N., Tikhonov M.A. The study of ventilatory function of the lungs and respiratory biomechanics in long-term space flights // Orbital station «Mir». V. 2. Biomedical experiments. Moscow, 2002. P. 17–24.

16. Фомина Е.В., Хуснутдинова Д.Р., Фалетенок М.В. и др. Анализ эффективности различных режимов локомоторных тренировок в длительных полетах на МКС. Результаты эксперимента «Профилактика»: Космический форум-2011, посв. 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина: Сборник матер. Воронеж, 2011. С. 63—64.

Fomina E.V., Husnutdinova D.R., Faletyonok M.V. et al. Analysis of the effectiveness of various modes of locomotor training in long flights on the ISS. The results of the experiment «Countermesure»: Kosmicheskiy forum-2011, posvyashchenny 50-letiyu poleta v kosmos Yu.A. Gagarina: Sbornik materialov. Voronezh, 2011. P. 63–64.

Поступила 25.06.2019

PREDICTORS OF COSMONAUT'S READINESS TO WORK ON THE MARTIAN SURFACE ON THE EVIDENCE FROM ORBITAL MISSIONS ONBOARD THE INTERNATIONAL SPACE STATION

Fomina E.V.^{1, 2, 3}, Lysova N.Yu.¹, Rezvanova S.K.^{4, 6}, Kireev K.S.⁵, Kotov O.V.¹, Novitskiy O.V.⁵, Timme E.A.^{6, 7}

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

²Moscow Pedagogical State University

³RUDN University of Russia, Moscow

⁴Russian state university of physical education, sport, youth and tourism (scolipe), Moscow

⁵Gagarin Cosmonaut Training Center, Star City, Moscow region ⁶Moscow Centre of advanced technologies, Moscow ⁷Sobolev Institute of Mathematics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Omsk

The paper presents the results of validating a new graded locomotion test on motorized treadmill with participation of 6 cosmonauts $(43\pm2 \text{ y.o.}, 84\pm6 \text{ kg, mission duration})$

 169 ± 18 days). The test is used to determine the autonomic system response to physical loading and individual locomotion strategies before, more than once during and on the first days after mission. The locomotion speed increases from 3 to 15 km/h by 1 km/h every 30 s, or till rejection. The recorded parameters are oxygen consumption, CO_2 production, pulmonary ventilation and heart rate.

The established individual rearrangements in locomotion autonomic regulation are indicative of an increasing physiological cost of work after prolonged exposure in microgravity. In remote space missions this new test may be effective in selecting the most adequate ways of preventing negative developments, and appointing crew members for egress onto an unexplored planet.

Key words: microgravity, graded load, gas exchange, autonomic regulation of muscle work, physiological cost of work.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. № 7. P. 19–27.

УДК 61:613.693

МЕЖПЛАНЕТНАЯ МИССИЯ: ПОДБОР И ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА КОМАНДИРА ЭКИПАЖА

Рюмин О.О.¹, Войтенко А.М.²

 1 Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, Звездный городок, Московская обл.

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

E-mail: O.Ryumin@gctc.ru

В статье рассматриваются психолого-педагогические вопросы подготовки и назначения командира межпланетной экспедиции. Предлагается вариант алгоритма отбора кандидата на должность командира. Описываются необходимые характеристики личности и профессионально важные качества такого специалиста. Представлены предложения по программе подготовки командира экспедиции, включающие вопросы практической психологии, профилактики и решения проблем межличностного общения членов экипажа и управленческой деятельности.

Ключевые слова: межпланетные полеты, командир экипажа, подбор, свойства личности, профессионально важные качества, подготовка.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53. № 7. С. 28-32.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-28-32

В настоящее время все большую актуальность приобретают вопросы, касающиеся всесторонних аспектов подготовки полетов вне низких орбит и межпланетных экспедиций. Серьезной и, на наш взгляд, недостаточно решенной остается задача комплектования экипажа подобной миссии и назначения его командира. Командир межпланетной экспедиции будет нести на своих плечах груз ответственности неизмеримо больший, чем при выполнении орбитальных полетов на транспортном корабле или орбитальной станции, что в первую очередь связано с практически полной автономностью выполняемой миссии в условиях длительного полета, направленного «от», а не «вокруг» Земли. Именно с направлением вектора движения связаны многие психологические особенности подобной экспедиции [1, 2]. Процесс назначения командира космического экипажа летчик-космонавт Герой Российской Федерации Олег Котов характеризует следующим образом: «Невзирая на то что все космонавты и астронавты подготовлены в одинаковом объеме и являются профессионалами во всех областях: научной программы, эксплуатации ремонтных систем и выхода в открытый космос - всегда в составе экипажа есть человек, на которого возложена особая задача и который несет особую ответственность – это

командир экипажа. Личность члена экипажа, которого должны назначить командиром, обсуждается заранее при формировании экипажа. При назначении учитываются опыт, заслуги, личные качества, потому что на командире лежит самая большая ответственность за безопасность станции и людей, работающих там, за выполнение всей программы полета, за формирование и поддержание психологического климата внутри экипажа. Ведь у каждого космонавта и астронавта всегда должно присутствовать чувство поддержки, «чувство локтя», всегда должно быть ощущение единого коллектива. Личность командира обсуждается отдельно и утверждается сразу же при формировании экипажа. В процессе подготовки к полету командир также несет ответственность за своих коллег» [3]. Хотя эти мысли были высказаны относительно орбитальных миссий, тем не менее практическое их приложение касается и полетов экипажей кораблей вне низких орбит.

Во многом деятельность командира экипажа межпланетной экспедиции (МПЭ) по ряду позиций сходна с работой начальника полярной станции, руководителя кругосветной экспедиции или автономного длительного плавания. На наш взгляд, она особенно близка деятельности командира атомной подводной лодки при несении боевой службы в длительном походе, в процессе которого он выполняет многочисленные, многогранные и ответственные обязанности. Среди них самыми главными, несомненно, являются умение в совершенстве управлять подводным атомоходом, поддерживая оружие и технику в готовности выполнить любую задачу, свойственную этому классу корабля. Обладая безусловным авторитетом для подчиненных, он должен суметь сплотить экипаж, сформировать у подводников высокие профессиональные и командные качества, проникать в суть человеческих отношений. От него требуется незаурядная смелость, дерзость, холодный расчет маневра при управлении огромным подводным кораблем и обеспечением безопасности экипажа, его коллективного безопасного поведения. О нравственных и психологических качествах командира подводной лодки весьма образно высказался

известный советский подводник Герой Советского Союза Магомет Гаджиев: «Командиру корабля нужны искусство поиска, мастерство при выборе момента и направления торпедной атаки плюс спокойная воинская дерзость, ошеломляющая врага... Командир-подводник должен быть самым невозмутимым из самых хладнокровных моряков, иметь пылкое воображение романиста и ясный здравый смысл, присущий действиям делового человека. Обладать выдержкой и терпением завзятого рыболова, искусного следопыта, предприимчивого охотника» [4]. При этом важно отметить еще одну ключевую особенность – готовность к самостоятельности в принятии ответственных и подчас непопулярных решений во время автономного плавания. Чтобы провести в жизнь такое решение, нужен не только авторитет командира, но и высокая духовная крепость и воля. Он должен постоянно поддерживать в экипаже готовность выполнить до конца свой воинский долг.

Естественно, что в психологическом и физиологическом плане имеются значительные отличия в жизнедеятельности и работе капитана подводной лодки и космонавта, однако в качестве методической основы формирования общих правил подбора и подготовки командира экипажа межпланетной экспедиции полезно использовать именно подобный опыт. Вместе с этим ценную информацию в реализации данного процесса может дать обязательный сбор сведений и формирование банка данных, накопленных в космонавтике за годы ее существования. Это важно для проведения ретроспективного анализа деятельности, психологических характеристик/качеств, поведенческих особенностей наиболее успешных командиров пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций, формирования на этой основе обобщенного образа специалиста. Однако сформировать подобный психологический «портрет» возможно при наличии точных сведений о планируемом межпланетном полете, включающих технические характеристики корабля, комплекс организационных и правовых аспектов функционирования экипажа.

Изучение психологических особенностей деятельности космонавтов в межпланетном полете позволяет концептуально рекомендовать целесообразность назначения командиром экипажа профессионального военного/офицера. Данный вывод связан со всем ходом процесса его профессионального становления и формирования как командира, от момента прохождения профессионального отбора в учебное заведение, обучения и дальнейшего карьерного продвижения по служебной лестнице. Офицер является командиром для определенного контингента лиц/подразделения (экипажа). Его обязанности, права и деятельность четко определены и регламентированы воинскими уставами [5], что предопределяет готовность и гарантирует

исполнение полного объема командных функций и принятию оперативных управленческих решений в самых сложных условиях реальной обстановки. Он имеет навыки и умения общения с членами подчиненного коллектива, обучен педагогическим принципам работы воспитателя.

Представляется важным уже с начального этапа отбора кандидатов в космонавты проводить целенаправленную оценку лиц, годных к подготовке и исполнению обязанностей командира экипажа в межпланетной экспедиции. В качестве практического ориентира и примера можно использовать опыт экспертной оценки руководителями авиационных коллективов основных профессионально важных качеств (ПВК) командира летного экипажа [6]. К наиболее важным и узнаваемым чертам облика такого командира, прежде всего, относятся такие качества, как профессионализм, честность, порядочность, чувство долга и организаторские способности. Существенное значение имеют склонность к лидерству, целеустремленность, настойчивость, воля и смелость, нервно-психическая устойчивость, способность к объективной самооценке, коммуникабельность, хорошая переносимость длительных статических физических нагрузок. Особое значение имеет не только способность распоряжаться и командовать, но и умение координировать усилия подчиненных, организуя отношения сотрудничества в коллективе.

Эффективность управленческой деятельности командира экипажа межпланетной миссии зависит от его способностей/совокупности свойств личности, которые обусловливают успешность ее выполнения. Сильного руководителя отличает высокая степень разнородности используемых приемов и методов организации работы коллектива, управленческих умений. Общая способность к управленческой деятельности предполагает наличие у него целого комплекса профессионально важных качеств. К их числу относятся: умение решать «нестандартные» управленческие проблемы и конфликтные ситуации; способность мыслить масштабно, умение обеспечить рациональное функциональное распределение обязанностей в экипаже, доминировать в коллективе, уверенность в себе, эмоциональная уравновешенность и толерантность, ответственность, общительность и независимость. Огромное значение имеет его авторитет, который приобретен своим трудом, профессиональными знаниями, организаторскими способностями, умением работать с людьми, принципиальностью и порядочностью. Весомым вкладом в это, безусловно, является успешная деятельность в качестве командира экипажа предыдущих космических экспедиций.

Личность командира является ключевой фигурой в деле обеспечения безопасности полета, эффективной реализации его программы, а также работоспособности и формировании психологически

совместимого экипажа межпланетной экспедиции. От четких и рациональных решений по устранению нештатных ситуаций, поддержания позитивного психологического климата в экипаже, профилактики и блокирования конфликтных ситуаций, соблюдения порядка и правовых норм в процессе всего полета зависит коллективное безопасное поведение на протяжении всей миссии. Однозначно, что такой человек должен обладать в первую очередь выраженными лидерскими качествами. В многочисленных исследованиях, направленных на изучение оптимального и совместимого космического экипажа [7-9], значительное место отводилось вопросу о его лидере. Указано, что роль лидера в экспедициях подчас имеет решающее значение. Это связано с тем, что экипаж в полете является настолько сложной и тонкой динамичной системой, что даже при самом строгом отборе его членов нельзя заранее предвидеть все ситуации, осложнения и кризисы. Важнейшая задача в период назначения командира экипажа, чтобы кандидат на должность совмещал в себе качества формального и неформального лидера. В противном случае лидерство «по должности», а не «по жизни» не совпадут и могут привести к негативным последствиям в межличностном взаимодействии в экипаже. Очень показателен пример такого командира - лидера в ходе экспедиции на папирусной лодке «Ра». Врач-исследователь экспедиции Юрий Сенкевич так описал своего командира Тура Хейердала: «На судне «Ра» во время плавания выделились три неформальные группы... более или менее обособленные, и в каждую из них входит Тур. Повезло нам с лидером» [10].

Необходимо помнить, что должность командира экипажа сама по себе несет дополнительную информационную и эмоциональную нагрузку на человека [11]. Известно, что наиболее подверженными эмоционально-стрессовому воздействию в сложных условиях боевой деятельности оказываются лица из числа руководящего состава. Офицеры, которые были ответственны за принятие решений, за результаты служебной деятельности вверенных им подразделений, за жизнь и здоровье личного состава, по сравнению с подчиненными более тяжело переживали риск выполняемых операций. Это также предъявляет особые требования к подбору и подготовке командира и выработке у него особой нервно-психической устойчивости и поведенческой толерантности к стрессовым ситуациям профессиональной деятельности.

Вариантом алгоритма подбора кандидата на должность командира экипажа МПЭ может быть предложена следующая трехуровневая система:

первый уровень – результаты психологического тестирования, проводимого на этапе первичного психологического отбора в космонавты и направленного на оценку личностных и организаторских профессионально важных качеств кандидата;

второй уровень – мотивированное мнение специалистов (непосредственные руководители, инструкторы, психологи и др.) о кандидате, полученное на основании результатов специальной подготовки, его профессиональной деятельности, социальной активности и авторитете среди коллег космонавтов;

третий уровень — социологический опрос/анонимное мнение членов планируемого экипажа о кандидате как возможном командире конкретного экипажа.

С целью объективизации оценки личных характеристик космонавта, выдвигаемого на должность командира экипажа межпланетной миссии, следует использовать тесты, прошедшие апробацию при отборе летчиков реактивной авиации и других операторов опасных профессий. Кроме того, необходимо оценивать наличие и степень выраженности у кандидатов основных организаторских ПВК, которые устанавливаются путем экспертной оценки [12]. При этом в структуре организаторских качеств кандидатов следует выделять психологическую избирательность и направленность, психологический такт, общественную энергичность, требовательность организатора, критичность организатора и его склонность к организаторской деятельности.

По завершении мероприятий всех уровней подбора целесообразно сформировать в отряде космонавтов кадровый резерв кандидатов на должности командиров экспедиций и для прохождения подготовки по специальной программе.

Специальная программа подготовки командира межпланетной миссии должна содержать разделы, касающиеся вопросов практической психологии, особенно диагностики, профилактики и коррекции проблем межличностного общения членов экипажа, этнопсихологии и т.д.

Для подготовки командиров по вопросам психологии целесообразно использовать следующие темы:

- специфика общения руководителя и подчиненных:
- виды конфликтов, психологические закономерности их развития, стратегии конфликтного взаимодействия;
 - способы разрешения конфликтных ситуаций;
- средства и методы сохранения и восстановления профессиональной работоспособности и др.

Особую важность при подготовке командира МПЭ имеет его умение и готовность к принятию самостоятельного решения в условиях автономного полета. Решение командира является основой управления экипажем. Оно служит организующим и объединяющим элементом, который приводит к слаженным действиям всех членов экипажа, направляет их действия к единой цели — реализации программы экспедиции в штатных условиях и вероятных нештатных ситуациях. Весь процесс управления автономным

полетом можно представить как непрерывную цепь решений, принимаемых командиром. От правильности и обоснованности их, от того, насколько они соответствуют обстановке, во многом зависит успешность реализации программы полета и обеспечения его безопасности. Поэтому принятие решения есть основная, наиболее трудная и самая ответственная обязанность командира экипажа. Особо высоки требования, предъявляемые к командиру МПЭ и его подготовке к действиям в нештатных ситуациях. При этом важным является его непосредственный статус руководителя. Как отмечено в основных понятиях экстремальной психопедагогики [13], руководитель – не один из хороших профессионалов, выдвинутый на руководящую работу, это другой профессионал, профессионал в области управления. В связи с этим командир экипажа несет ответственность не столько за себя, сколько за своих коллег-подчиненных, за их безопасность и успешное выполнение всей программы полета.

Подготовка командира экспедиции к управлению в нештатных условиях труднее и ответственнее, чем подготовка космонавтов - членов экипажа, причем недостатки в ней могут значительно сильнее отразиться на общем успехе всей миссии. В связи с этим внедрение в практику подготовки командиров межпланетных экипажей их обучения вопросам экстремального управления в различных ситуациях является актуальным и важным. Среди всего многообразия методов и средств подготовки, имеющих отношение к деятельности в экстремальных условиях, особое место занимают тренировки по выживанию и в условиях изоляции. Их проведение с применением специально разработанных сценариев предоставляет специалистам широкие возможности моделирования различных стрессовых ситуаций, обучения командира действиям по управлению экипажем. Для этого можно использовать опыт подобных работ, проводимых в ЦПК им. Ю.А. Гагарина и Институте медико-биологических проблем РАН [14-16].

Успешность выполнения командиром сложных функциональных обязанностей зависит как от его профессиональной подготовленности к управленческой деятельности, так и от уровня его социально-психологической компетентности. По мнению ряда авторов [17], руководителя с высоким уровнем развития управленческой и социально-психологической компетентности отличают следующие качества:

- широта профессиональной, общей, управленческой и социально-психологической эрудиции;
- устойчивая управленческая направленность, проявляющаяся в понимании значимости психологических знаний, навыков и умений для профессиональной деятельности, убежденности в необходимости их формирования;

- умение быстро ориентироваться в обстановке, гибко реагировать на ее изменения, решать управленческие задачи в соответствии со сложившейся обстановкой:
- умение правильно выбирать приоритетные цели;
- твердость, решимость, энергичность в достижении целей управления коллективом;
- умение формировать благоприятный социально-психологический климат в экипаже, не допускать конфликтов, а в случае их возникновения умение психологически грамотно их разрешать;
- умение нести ответственность за принятое управленческое решение;
- умение оптимально распределять служебные обязанности между подчиненными для достижения эффективного результата;
- доброжелательность в общении с подчиненными;
- способность оказывать побуждающее воздействие на людей без использования власти и т.д.

Перечисленные качества должны послужить основой для учебных занятий с группой кандидатов в составе кадрового резерва на должности командиров экипажей планируемых экспедиций.

Выводы

- 1. Высокопрофессиональный и многосторонне подготовленный командир сможет обеспечить коллективное безопасное поведение экипажа, являющееся важнейшим условием эффективного выполнения программы межпланетного пилотируемого полета. Коллективное безопасное поведение достигается путем формирования профессиональной социальной группы/экипажа подготовленных космонавтов и характеризуется общими целями, психологической совместимостью.
- 2. Предложена трехуровневая система подбора кандидата на должность командира экипажа МПЭ, рассмотрено содержание специальной программы его подготовки по вопросам психологии.

Список литературы

1. *Рюмин О.О.* Вопросы психологического обеспечения пилотируемых межпланетных полетов // Авиакосм. и экол. мед. 2017. Т. 51. \mathbb{N}^0 4. С. 15–20.

Ryumin O.O. Questions of psychological support of manned interplanetary flights // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2017. V. 51. N_2 4. P. 15–20.

- 2. Whiteley I., Bogatyreva O. Toolkit for a space psychologist to support astronauts in exploration missions to the Moon and Mars. 2018. UK.
- 3. О командирстве. Котов Олег, 02 декабря 2013 17:26, борт МКС. Блог С. 8.

About command. Oleg Kotov, 02 December 2013 17: 26, ISS Board. Blog P. 8.

4. *Усенко Н.В.* Опыт воспитания моряков-подводни-ков // Военная мысль. 2006. № 3. С. 71–76.

Usenko N.V. Experience of education of seamen-submariners // Voennaya mysl′. 2006. № 3. P. 71–76.

5. Устав внутренней службы Вооруженных Сил Российской Федерации: Указ Президента РФ от 25.03.2015 № 161.

Charter of the internal service of the Armed Forces of the Russian Federation: Presidential Decree \mathbb{N}^0 161 of 25.03.2015.

6. Бодров В.А., Малкин В.Б., Покровский Б.Л., Шпаченко Д.И. Психологический отбор летчиков и космонавтов // Проблемы космической биологии. М., Т. 48. 1984.

Bodrov V.A., Malkin V.B., Pokrovsky B.L., Shpachenko D.I. Psychological selection of pilots and cosmonauts // Problems of space biology. Moscow, V. 48. 1984.

7. *Мясников В.И., Степанова С.И., Сальницкий В.П. и др.* Проблема психической астенизации в длительном космическом полете. М., 2000.

Myasnikov V.I., Stepanova S.I., Salnitsky V.P. et al. The problem of mental asthenization in long-term space flight. Moscow, 2000.

8. *Леонов А.А., Лебедев В.И*. Психологические проблемы межпланетного полета. М., 1975.

Leonov A.A., Lebedev V.I. Psychological problems of interplanetary flight. – Moscow, 1975.

9. Платонов Ю.П. Структура и условия лидерства // Электронная публикация. 01.04.2008.

Platonov Yu.P. Structure and conditions of leadership // Electronic publication. 01.04.2008.

10. *Сенкевич Ю.А*. На «Ра» через Атлантику. Л., 1973.

Senkevich Yu.A. On «Ra» across the Atlantic. Leningrad, 1973.

11. *Платонов Ю.П.* Эмоциональное перенапряжение – плата за лидерство // Электронная публикация. 16.11.2007.

Platonov Yu.P. Emotional overstrain – payment for leadership // Electronic publication. 16.11.2007.

12. Войтенко А.М., Зайцева С.Ю. Автоматизированный тест «Организаторские профессионально важные качества» // Психофизиология профессионального здоровья человека: Матер. науч.-практ. конф., посвященной 20-летию образования каф. военной психофизиологии ВМедА. СПб., 2017. С. 67–69.

Voitenko A.M., Zaitseva S.Yu. Automated test «Organizational professionally important qualities» // Psychophysiology of professional health of the person: Proc. of science. and pract. conf., dedicated to the 20th anniversary of the Faculty of Military Psychophysiology of Military Med. Academy. St. Petersburg, 2017. P. 67–69.

13. Столяренко А.М. Экстремальная психопедагогика: Учеб. пос. для вузов. М., 2002.

Stolyarenko A.M. Extreme psychopedagogy: Textbook for universities. Moscow, 2002.

14. Жданов О.И. Психологическое обеспечение профессионального долголетия космонавтов: Дис. ... д-ра мед. наук. М., 1995.

Zhdanov O.I. Psychological support of professional longevity of cosmonauts: Dissertatsiya ... doktora meditsinskikh nauk. Moscow, 1995.

15. *Гущин В.И.* Закономерности дистанционного общения изолированных малых групп в долговременной изоляции: Дис. ... д-ра мед. наук. М., 2003.

Gushchin V.I. Regularities of remote communication of isolated small groups in long-term isolation: Dissertatsiya ... doktora meditsinskikh nauk. Moscow, 2003.

16. *Гущин В.И., Binsted К., Дёмин Е.П. и др.* Опыт и перспективы модельных изоляционных экспериментов в России и США // Авиакосм. и экол. мед. 2016. Т. 50. № 5. Спецвып. С. 61–63.

Gushchin V.I., Binsted K., Demin E.P. et al. Experience and prospects of model isolation experiments in Russia and the USA // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2016. V. 50. № 5. Special issue. P. 61–63.

17. Гузева Т.В. Психологическая подготовка руководителей как фактор эффективности в управленческой деятельности // Психолого-педагогические исследования. Электр. журнал МГППУ. 2011. № 1. С. 1-10.

Guzeva T.V. Psychological training of managers as a factor of efficiency in management activities // Psychological and pedagogical research. El. journal of MGPPU. 2011. № 1. P. 1-10.

Поступила 23.05.2019

INTERPLANETARY MISSION: CREW COMMANDER ASSIGNMENT AND PSYCHOLOGICAL TRAINING

Ryumin O.O.¹, Voitenko A.M.²

¹Yu. A. Gagarin research & test cosmonaut training center, Moscow region

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

The paper considers the psycho-educational aspects of training and assignment of crew commander for a remote space mission. An algorithm of selecting candidates for commander is proposed and personality traits and important professional qualities are specified. The training program should take in practical psychology, prevention and settlement of problems in interpersonal communication, and managerial activity.

Key words: remote space mission, crew commander, selection, personality traits, important professional qualities, training.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. № 7. P. 28–32.

УДК 613.693+331.43/.45

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РЕГЛАМЕНТАЦИИ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ УЧАСТНИКОВ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

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

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

E-mail: ssi@imbp.ru

Статья посвящена обсуждению нормативного лимита ежедневной рабочей занятости, принятого в полетах на орбитальной станции «Мир» и Международной космической станции (МКС). Рассматриваются вопросы сверхнормативной занятости российских космонавтов в этих полетах — ее объемы, связь с особенностями планирования, с конкретными видами деятельности, а также психофизиологические последствия. По мнению авторов, основной причиной сверхнормативной занятости российских членов экипажей были и остаются перегруженные полетные программы, не соответствующие численности российских экипажей МКС. Дается обоснование необходимости сохранения нормативного лимита ежедневной рабочей занятости.

Ключевые слова: сверхнормативная занятость, лимит ежедневной рабочей нагрузки, экстремальные профессии, эмоциональный стресс, невесомость, психическая астенизация.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53. № 7. С. 33–39.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-33-39

В соответствии с документально оформленными медицинскими требованиями к режиму труда и отдыха (РТО) жизнь членов экипажей орбитальной станции (ОС) «Мир» строилась на основе 7-дневной календарной недели, включавшей 5 рабочих дней и 2 выходных дня. Деятельность по программе полета планировалась только в рабочие дни, и ее ежедневная продолжительность ограничивалась 6,5 ч. Выходные дни следовало освобождать от плановых работ.

На Международной космической станции (МКС) действующая медицинская документация предписывает ограничивать работу с системами и полезной нагрузкой (т.е. фактически деятельность по программе полета) 6,5 ч в рабочий день и 1 ч — в выходной день. Неделя состоит из 5 рабочих и 2 выходных дней.

Опыт работы космонавтов на ОС «Мир» показал, что РТО российских членов экипажей нередко отклонялся от указанных требований. В период подготовки к посадке очередного экипажа рабочий день космонавтов мог увеличиваться до 9–11 ч.

Повышение рабочей нагрузки отмечалось в связи с проведением погрузочно-разгрузочных работ с транспортными грузовыми кораблями и ремонтно-восстановительных работ, связанных с нештатными ситуациями. Прием экспедиций посещения также сопровождался увеличением рабочего периода до 11 ч и больше.

Значительную роль в формировании высокой рабочей нагрузки с превышением нормативных лимитов занятости играли особенности планирования. Как неоднократно отмечали члены экипажей ОС «Мир», плановое время, отводимое на выполнение рабочих операций, оказывалось в 2-3 раза меньше, чем требовалось на самом деле. Такое планирование получило название хронодефицитного, поскольку создавало реальные предпосылки возникновения дефицита рабочего времени. Одной из основных причин хронодефицитного планирования были перегруженные полетные программы, что на практике выливалось в стремление заложить в план как можно больше заданий под предлогом повышения научной и экономической эффективности космических полетов.

В ряде случаев увеличение рабочего времени происходило в плановом порядке, в частности, в период подготовки и осуществления внекорабельной деятельности (ВКД). Причинами внеплановой занятости были срочные задания, поступавшие с Земли, а также работа в выходные дни: в полетах ОС «Мир» частичная или полная занятость выходных дней наблюдалась очень часто.

Важно отметить, что рабочее время космонавтов увеличивалось за счет отказа от личного времени (отдыха), сокращения длительности сна, нарушения распорядка питания и физических тренировок. В ряде случаев приоритетные работы выполнялись за счет других, менее важных видов деятельности.

При работе космонавтов на ОС «Мир» была разработана методика количественных экспертных оценок РТО, основанная на переводе описательных характеристик полетного РТО в количественные показатели — баллы. Баллы начислялись за каждый случай отклонения от штатных требований к организации труда и отдыха, проявление

сопутствующего психосоматического дискомфорта (сокращение длительности и ухудшение сна; просьбы экипажа пораньше уйти спать и подольше поспать утром; жалобы на усталость; сниженные оценки работоспособности космонавтов, регистрируемые специалистами наземной службы полетного медицинского контроля - группы медицинского обеспечения полетов). Такой подход позволил оценить корреляционные отношения между избыточными (сверхнормативными) рабочими нагрузками, с одной стороны, и проявлениями психосоматического дискомфорта – с другой. В результате в 5 из 14 рассмотренных полетов было найдено статистическое подтверждение связи избыточной занятости космонавтов с нарушениями их психосоматического благополучия (значения коэффициента корреляции r варьировались в пределах от 0,428 до 0,695 при p < 0.05 и p < 0.02).

Как показал анализ работы космонавтов на ОС «Мир», избыточные рабочие нагрузки являются одной из причин формирования напряженного РТО. Другой причиной служат отклонения от штатного распорядка сна — бодрствования (сдвиги сна). Совместное влияние обоих факторов приводит к повышению числа ошибочных действий, допускаемых членами экипажа в процессе полета.

В экспедициях МКС-1—20 повышенные рабочие нагрузки приходились на периоды смены основных экипажей, т.е. начальный и заключительный этапы полета, а также эпизоды выполнения внекорабельной деятельности (ВКД) и совместной деятельности с экспедициями посещения. В эти дни время работы увеличивалось до 7—8 ч и более, а в некоторых случаях до 16—18 ч; космонавты испытывали жесткий лимит и дефицит времени, нарушали распорядок питания, физических тренировок и сна.

Так же как в полетах на ОС «Мир», причинами увеличения рабочей нагрузки экипажей МКС-1–20 были хронодефицитное планирование, погрузочно-разгрузочные работы с грузовыми кораблями и нештатные ситуации. Ряд обязательных работ оставался незапланированным из-за отсутствия места в перегруженных планах. Для того чтобы оправдать такое положение дел, эти работы объявлялись «инициативными», т.е. выполняемыми по собственному желанию членов экипажей, в то время как в действительности они носили обязательный характер и должны были выполняться в плановом порядке. Сюда относились работы по инвентаризации оборудования, по техническому обслуживанию систем станции и даже по подготовке к ВКД.

В ряде случаев обязательные работы включались в Task List – в перечень факультативных заданий. Это было безусловным следствием перегруженности суточных планов.

Рабочее время увеличивалось также за счет систематических поисков оборудования,

необходимого для выполнения очередных плановых операций, в связи с отсутствием порядка в его размешении на борту станции.

Особо следует отметить занятость космонавтов работой выходные дни. Так, в экспедиции МКС-15 из 46 запланированных дней отдыха у командира экипажа (КЭ) было фактически 26, а у бортинженера-1 (БИ-1) — 23 полных дня отдыха, остальные дни отдыха были полностью или в основном заняты работой. За весь полет продолжительность только плановых работ, без учета сверхплановой занятости, в дни отдыха составила у КЭ 90 ч, а у БИ-1 — 95 ч, что при нормативной рабочей загрузке 6,5 ч в день означает примерно 14 рабочих дней. В этом полете 2 нед планового рабочего времени были дополнительно получены только за счет выходных дней членов экипажа.

В итоге, согласно выполненным расчетам, суммарное время переработок на протяжении всего полета у КЭ МКС-11 составило 228 ч (что равноценно 35 рабочим дням), у КЭ МКС-13 — свыше 174 ч (27 рабочих дней), у КЭ МКС-14 — более 143 ч (22 рабочих дня).

Перечисленные особенности, характеризующие деятельность членов экипажей МКС-1–20, были связаны с ключевой проблемой перегруженности полетных программ.

Проблема избыточных рабочих нагрузок сохранялась и в последующих экспедициях на МКС. Здесь, так же как и раньше, сверхнормативные нагрузки были обусловлены в основном погрузочно-разгрузочными работами с транспортными и грузовыми кораблями; подготовкой и осуществлением ВКД; работами по техническому обслуживанию станции; превышением реальных сроков выполнения заданий над плановыми (хронодефицитным планированием) и, кроме того, нештатными ситуациями, а также выполнением большого объема заданий по программе Task List.

Для экспедиций МКС-26/27-39/40 был рассчитан объем сверхнормативных работ, выполненных в каждом из этих полетов. Оказалось, что только в одном из них (МКС-33/34) космонавты таких работ практически не выполняли. Все остальные полеты были отмечены сверхнормативными работами. В среднем каждый космонавт за 1 полетный день (включая рабочие и выходные дни) перерабатывал сверх норматива по 30 мин. В действительности реальная переработка могла быть и больше, и меньше (от 17 до 60 мин в день).

В экспедициях МКС-40/41—49/50 показатель, характеризующий ежедневный объем сверхнормативных работ 1 космонавта, в среднем по всей группе полетов составил 25 мин., а в экспедициях МКС-50/51—53/54 — примерно 2 ч (1 ч 51 мин).

Таким образом, сверхнормативные работы прочно закрепились в практике экспедиций на МКС.

Основной причиной такого положения дел является перегруженность полетных программ и как следствие избыточная занятость космонавтов, превышающая нормативный лимит ежедневной рабочей нагрузки, предусмотренный действующей полетной документацией. Так, может быть, следует пересмотреть требования к полетному режиму труда и отдыха, подняв планку нормативного лимита, по крайней мере, до 7 ч в день? Для ответа на этот вопрос необходимо прежде всего понять, как возник норматив 6,5 ч в день.

Первым шагом к разработке этого норматива явился анализ литературного материала, определяющего продолжительность эффективной вахты оператора, поскольку считалось, что особенности профессии космонавта во многом соответствуют операторской деятельности. С учетом многочисленных данных, полученных разными авторами при обследовании радистов на борту самолетов, машинистов скоростных локомотивов, работников телевидения, метрополитена, железнодорожного транспорта, диспетчеров, работающих в аэропортах и в системе Мосэнерго, машинистов-операторов тепловых электростанций, механиков и мотористов на морских судах, было рекомендовано ограничивать продолжительность непрерывной вахты на борту космического корабля 3-4 ч с последующим отдыхом не менее 4 ч [1, 2]. Принимались также во внимание рекомендации У. Вудсона, Д. Коновера [3], согласно которым при довольно ответственной работе, связанной с необходимостью принимать решения на основе информации, меняющейся случайным образом, непрерывная деятельность должна продолжаться не более 4 ч.

Из приведенных данных следовал, казалось бы, логичный вывод, согласно которому распорядок труда и отдыха космонавтов может ежедневно предусматривать две 4-часовых вахты, разделенные как минимум 4-часовым периодом отдыха. Полагая, однако, что искусственно разбивать рабочий день на две части, разделенные достаточно длительным промежутком, свободным от работы, неудобно и потому нереально, специалисты по вопросам организации труда и отдыха космонавтов не выступали с таким предложением. Анализируя режим труда и отдыха членов экипажей кораблей «Союз» и ОС «Салют» [4], они сосредоточили внимание на фактах высокой насыщенности полетных программ и возникавшего в этой связи дефицита времени. Они ссылались на заявления самих космонавтов, такие, как «прежде всего, в космосе следует ожидать возникновения дефицита времени» или «нагрузка у космонавтов была чрезвычайно большой», «мы работали иногда по 16 ч в сутки» [4]. Стремясь успешно выполнять напряженные программы, космонавты занимали работой часы, отведенные на отдых и приемы пищи, но дефицит времени заставлял их в

ряде случаев отказываться и от некоторых плановых работ.

В ситуации, отмеченной чрезвычайной насыщенностью полетных программ, специалистам по РТО не оставалось ничего другого, как призывать к тому, чтобы рабочее время космонавтов хотя бы укладывалось в пределы земных нормативов: «... учитывая, что условия космического полета являются более трудными, а в ряде случаев и стрессовыми по сравнению с земными условиями, продолжительность рабочего дня и рабочей недели космонавтов не должна превышать их продолжительности на Земле» [4].

В соответствии с трудовым законодательством СССР, действовавшим с 1970 по 2001 г. [5], продолжительность рабочей недели лиц, занятых в сфере «вредных условий труда» (во многом, если не во всем, соответствующих современному понятию экстремальных условий труда), должна была составлять не более 36 ч, причем работа в выходные дни запрещалась. Нетрудно подсчитать, что в условиях 5-дневной рабочей недели указанный норматив соответствовал длительности рабочего дня 7 ч 12 мин. Нормативный лимит полетной занятости, принятый на ОС «Мир» (6,5 ч в день), учитывал, во-первых, требования трудового законодательства; во-вторых, специфику космического полета с его негативными психофизиологическими эффектами, затрудняющими и работу, и отдых (сон) человека в космосе; в-третьих, необходимость посвящать рабочую деятельность космонавтов не только обеспечению нормального технического состояния космического объекта, его оборудования и аппаратурного оснашения. но и выполнению достаточно большого объема работ (прежде всего научных и прикладных исследований), определяющих смысловое содержание космических экспедиций, т.е. таких работ, в отсутствие которых космические полеты вообще не имели бы смысла. При этом исходили из того, что 6,5-часовой рабочий период вряд ли будет непрерывным; скорее всего, обеденный перерыв разделит его на 2 части, между которыми удастся хотя бы немного отдохнуть (согласно документальным требованиям к РТО, в полетах на ОС «Мир» продолжительность обеденного перерыва вместе с подготовкой рациона должна была составлять 1 ч 10 мин). Надеялись также на то, что не всякая работа на борту космического корабля будет столь же напряженной, как деятельность машинистов, диспетчеров и т.п., благодаря чему космонавтам удастся сохранять высокий уровень рабочей производительности дольше 4 ч. Однако приведенные соображения не могли полностью исключить опасений по поводу возможности появления признаков утомления в конце 6,5-часового рабочего периода.

Позже этот лимит был согласован медицинскими специалистами 5 космических агентств

(Европейского, Канадского, Российского, США и Японии) и отражен в полетных документах, действующих на МКС.

Все указанное выше по поводу обоснования нормативного лимита 6,5 ч в день полностью относится к МКС: это касается и ныне действующего в нашей стране Трудового кодекса РФ, сохранившего требование 36-часовой рабочей недели для «вредных» и «опасных» условий работы [6], и трудностей космического полета, и необходимости выполнения научных и прикладных исследований, и ожиданий, связанных с обеденным перерывом (по регламенту, принятому на МКС, он должен продолжаться 1 ч), и надежд на длительное (свыше 4 ч) сохранение высокой рабочей продуктивности, и, наконец, возможности развития утомления до завершения 6,5-часового рабочего периода.

Тем не менее в полетах на МКС официально разрешено планирование работ на выходные дни (по 1 ч в день). К этому прибавляется ряд обстоятельств, действующих в период совместной работы на МКС 2 основных экипажей (вновь прибывшего и убывающего):

- для вновь прибывшего экипажа допускается увеличение рабочего времени с системами и полезной нагрузкой с 6,5 до 8 ч;
- для убывающего экипажа штатная продолжительность работы с системами и полезной нагрузкой увеличивается с 6,5 до 7 ч.
- для обоих экипажей допускается планирование работ в штатные выходные дни.

Эти мероприятия обусловлены не медицинскими, а операционными соображениями. Медицинские специалисты не являются их инициаторами. С их точки зрения, планирование работ в выходные дни противоречит представлению о статусе выходного дня как полноценного дня отдыха и формирует у космонавтов, а также у лиц, причастных к комплектованию полетных программ и составлению рабочих планов, психологическую готовность занимать работой время, предназначенное для отдыха членов экипажей.

Отношение медиков к увеличению лимита ежедневной занятости до 7–8 ч должно быть предельно осторожным как в этих, так и в любых других случаях. Медицинские специалисты имеют право поддерживать наращивание рабочего лимита только при условии, если от этого не страдают здоровье и работоспособность космонавтов. Но таких гарантий дать сегодня никто не может. Нет никакой уверенности в том, что в космическом полете рабочая нагрузка по 7–8 ч в день не сопровождается накоплением утомления и снижением работоспособности. Судя по результатам дистанционного мониторинга психического состояния космонавтов в экспедициях на МКС-1—15, в 7 из них было отмечено (и подтверждено данными статистического анализа) отрицательное влияние избыточных рабочих нагрузок на качество сна (по субъективным впечатлениям), настроение, эмоциональную окраску радиопереговоров с Землей и т.п. Но связывать такое влияние именно с 7–8-часовой продолжительностью рабочего периода полученный материал не дает оснований.

Анализ оценок самочувствия российских членов экипажей МКС-1—15 показал, что эти оценки в основной своей массе были положительными и не могли рассматриваться в качестве надежных индикаторов объективного состояния, потому что не всегда соответствовали объективным оценкам. Действительно, космонавты, как правило, избегают жалоб по какому-либо поводу, касающемуся их здоровья и работоспособности, и нередко прячут проблемы с самочувствием под маской нейтральных и даже хороших оценок, создающих видимость благополучия. Поэтому переход от оценок самочувствия к объективным оценкам состояния участников космического полета если и возможен, то только на предположительном уровне.

При увеличении рабочего лимита от 6,5 до 7 ч «космический» показатель вплотную приблизится к «земному», фактически сравняясь с ним. Такое тесное сближение не учитывает разницы в условиях пребывания на Земле и в космосе.

Рассмотрим подробнее негативные психофизиологическиие эффекты космического полета. Причинами их возникновения могут быть:

- риск, сопутствующий полету;
- сенсорная депривация;
- длительное пребывание в ограниченном замкнутом пространстве в составе малой группы;
 - высокий уровень шума;
- резкое сужение круга внешних (физических и социальных) указателей времени суток (так называемых датчиков времени);
- плановые и неплановые смещения периода сна по 24-часовой шкале (сдвиги сна), вызванные необходимостью проведения ночных работ;
- нештатные ситуации; неудобные и неудачно расположенные (например, вблизи источников шума) спальные места;
- неблагоприятные изменения микроклиматических условий (повышение температуры воздуха, увеличение содержания ${\rm CO_2}$ в атмосфере космического объекта).

Что касается самих эффектов, то в их числе прежде всего следует отметить чувство опасности, тревожное ожидание внезапных осложнений; переживания, обусловленные дефицитом привычных жизненных впечатлений, в том числе ограничением контактов с родственниками и друзьями; раздражительность, ухудшение межличностных отношений в общении с партнерами и наземным персоналом. Все эти проявления можно квалифицировать как

признаки психического (эмоционального) стресса. Возможны также нарушения сна с ухудшением его качества и уменьшением продолжительности и в связи с этим появление сонливости в рабочее время.

Перечисленные факторы вместе с их эффектами, пусть не во всей совокупности, а в различных сочетаниях или, в крайнем случае, в единичных проявлениях, могут сопровождать деятельность человека в наземных условиях. Очевидно, именно их учет определяет законодательные регламенты рабочей недели (36 ч) и рабочего дня (7 ч 12 мин), ориентированные на лиц экстремальных профессий, работающих на Земле.

Однако есть еще один фактор, который стоит выделить из общего ряда, поскольку он определяет специфику космического полета. Этот фактор — невесомость. По мнению авторов работы [7], психическая сфера человека в космическом полете испытывает влияние не только эмоционального стресса, но и соматических изменений, обусловленных воздействием невесомости, поскольку «психические явления неотделимы от физиологических сдвигов». В этой связи авторы обсуждают возможность неблагоприятных отклонений в психике космонавтов под влиянием физиолого-биохимических эффектов невесомости. В числе патогенетически значимых феноменов, порождаемых невесомостью, рассматриваются:

- нарушения церебральной гемодинамики, вызванные избыточным кровенаполнением верхней половины тела;
- ухудшение кислородного обеспечения тканей организма в результате уменьшения общей массы эритроцитов и гемоглобина (синдром функциональной анемии);
- уменьшение афферентных потоков с рецепторных областей опорно-двигательного аппарата и висцеральных структур (функциональная деафферентация), создающее предпосылки уменьшения тонуса коры головного мозга с ухудшением операторской бдительности, распределения и сосредоточения внимания и в итоге предпосылки снижения умственной работоспособности;
- изменения баланса электролитов со снижением внутриклеточного калия в мозговых структурах, что может вызывать раздражительность, неустойчивость внимания, эмоциональную лабильность, повышенную утомляемость.

В космическом полете сочетание эмоционального стресса и соматических изменений, обусловленных невесомостью, играет ключевую роль в развитии синдрома психической астенизации (астеноневротического синдрома), во многом благодаря тому, что эти факторы, действуя в совокупности, усиливают негативные эффекты друг друга.

В процессе развития синдрома психической астенизации различают 3 стадии [7]. Первая стадия

проявляется в основном в повышенной эмоциональной возбудимости. Вторая стадия характеризуется неустойчивостью настроения, частым появлением чувства усталости, снижением качества выполнения профессиональной деятельности, ухудшением сна. Ухудшение сна связано с пониманием опасности полетной ситуации, которая заставляет космонавтов бдительно контролировать шумовой фон станции не только в рабочее время, но и во время сна, и не позволяет им погружаться в слишком глубокий сон. Как отмечал космонавт В.В. Рюмин: «...каждый день, каждый час, каждую минуту мы должны быть готовы к тому, что произойдет непредвиденное» [7]. Для третьей стадии характерны: постоянно сниженное настроение, раздражительность, конфликтная напряженность, частые и грубые ошибки при выполнении профессиональной деятельности, выраженные расстройства сна, требующие систематического употребления снотворных препаратов.

В космическом полете проявления психической астенизации чаще всего соответствуют первым двум стадиям. Существенный вклад невесомости в развитие этого состояния дает все основания считать, что лимит рабочей занятости в космосе должен быть ниже земного уровня. С этой точки зрения «космический» лимит 6,5 ч в день является вполне оправданным.

Можно привести дополнительные аргументы в пользу такого лимита.

- 1. Среди российских космонавтов, принимавших участие в экспедициях на МКС-40/41—49/50, выделяется группа лиц, которые, в отличие от своих партнеров по экипажу, не проявляли особой готовности работать дольше 6,5 ч в день: одна женщина и двое мужчин (один участник годового полета, второй летавший впервые). У этих лиц расчетный показатель объема сверхнормативных работ, выполненных за 1 полетный день, составил в среднем по группе 6 мин, в то время как у их партнеров тот же показатель составил 26 мин. Медицинский лимит должен учитывать интересы и возможности всех, в том числе и таких космонавтов.
- 2. В современных космических объектах нет специально оборудованных зон отдыха, где поддерживались бы условия, способствующие снятию утомления и облегчающие процесс восстановления работоспособности: оптимальный световой режим, комфортный микроклимат, изоляция от шума и вибрации. На Земле это можно сделать, а в космосе очень проблематично, особенно в том, что касается изоляции от шума и вибрации. Поэтому в космическом полете важно заботиться о профилактике утомления и с этой точки зрения следует если не уменьшать, то, по крайней мере, сохранять существующий лимит ежедневной рабочей нагрузки, равный 6,5 ч.

Подводя итог всему изложенному выше, сформулируем следующее положение: систематическая

Таблица

Классификация видов деятельности космонавта в космическом полете (по работе [8])

Обозначение	Название	Определение			
ТЭ	Техническая эксплуатация	Операции, предусмотренные инструкцией по эксплуатации штатных систем изделия при реализации их целевого назначения и профилактического обслуживания			
тэд	Техническая эксплуатация с динамикой	Операции, предусмотренные инструкцией по эксплуатации штатных систем при выполнении типовых динамических операций			
ТЭС	Техническая эксплуатация повышенной сложности	Операции, предусмотренные инструкцией по эксплуатации штатных систем при выполнении сложных динамических операций			
НЭ	Научные эксперименты	Операции, предусмотренные инструкцией по выполнению научных экспериментов и профилактического обслуживания научной и экспериментальной аппаратуры			
вкд	Внекорабельная деятельность	Работы в открытом космосе			
PP	Ремонтные работы	Работы, выполняемые с целью восстановления нормального функционирования элементов и систем космического аппарата, проводимые в соответствии с разработанными алгоритмами и приводящие к восстановлению характеристики объекта в пределах установленных норм			
ВР	Восстановление Сон, отдых, занятия физической культурой работоспособности				

практика сверхнормативной занятости не обесценивает медицинских требований, касающихся 6,5-часовой продолжительности ежедневных работ с системами и полезной нагрузкой, так как перегруженные полетные программы не могут служить основанием для пересмотра медицинских лимитов занятости в сторону их увеличения.

Для того чтобы медицинские требования не оставались на бумаге, но обеспечивались в реальности, необходимо разгрузить российские полетные программы и привести их в соответствие с численностью российских экипажей МКС. Крайне нежелательно проводить такое сокращение за счет исследовательской составляющей, нужно поискать резервы в других видах деятельности. Судя по данным, приведенным в таблице [8], было бы полезно по-новому рассмотреть объем и содержание технических операций, выполняемых на станции. В основном это плановые операции; возможно, какие-то работы могут быть сокращены или видоизменены без ущерба для безопасности полета.

В любом случае медики не имеют оснований одобрить любые попытки узаконить повышение лимита ежедневной рабочей нагрузки с 6,5 до 7–8 ч и тем самым взять на себя долю ответственности за возможные последствия в виде ухудшения здоровья и снижения работоспособности участников космических полетов. Иначе говоря, инициатива повышения лимита занятости не может быть поддержана медицинскими специалистами, а тем более исходить от них.

Выводы

- 1. В экспедициях российских космонавтов на ОС «Мир» и МКС прочно вошли в практику сверхнормативные работы с превышением лимита ежедневной рабочей нагрузки, предусмотренного полетной медицинской документацией (6,5 ч). Основной причиной сверхнормативной занятости российских космонавтов были и остаются перегруженные полетные программы.
- 2. Результаты полетного медико-психологического мониторинга подтвердили отрицательное влияние избыточных рабочих нагрузок на качество и длительность сна, настроение, субъективные и объективные оценки работоспособности.
- 3. Действующий норматив рабочей нагрузки (6,5 ч в день) учитывает требования Трудового кодекса РФ, специфику космического полета с негативными психофизиологическими эффектами невесомости, а также необходимость выполнения большого объема технических и исследовательских работ.
- 4. Перегруженные полетные программы не являются основанием для пересмотра медицинских требований, касающихся 6,5-часового лимита рабочей занятости. Любая инициатива повышения лимита занятости сверх 6,5 ч в день не может быть поддержана медицинскими специалистами.
- 5. Необходимо разгрузить российские полетные программы и привести их в соответствие с

численностью российских экипажей на МКС на базе 6,5-часового лимита рабочей нагрузки.

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.

Alyakrinskij B.S. The scientific basis of the cosmonaut's work–rest organization. Moscow, 1975.

2. Алякринский Б.С. Биологические ритмы и организация жизни человека в космосе // Проблемы космической биологии. Т. 46. М., 1983.

Alyakrinskiy B.S. Biological rhythms and human life organization in space // Problems of space biology. V. 46. Moscow. 1983.

3. *Вудсон У., Коновер Д.* Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов. М., 1968.

Woodson W.E., Conover D.W. Human engineering guide for equipment designers. Moscow, 1968.

4. Алякринский Б.С., Степанова С.И. Организация труда и отдыха членов экипажей кораблей «Союз» // Космические полеты на кораблях «Союз». Биомедицинские исследования. М., 1976. С. 161–183.

Alyakrinskiy B.S., Stepanova S.I. Work–rest organization of cosmonauts aboard the «Soyuz» space vehicles // Space flights on «Soyuz» space vehicles. Biomedical studies. Moscow, 1976. P. 161–183.

5. Закон СССР от 15.07.1970 об утверждении Основ законодательства Союза ССР и союзных республик о труде.

USSR law 15.07.1970 on the approval of the Fundamentals of Legislation of the USSR and Union Republics on labor.

6. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (редакция от 11.10.2018).

The Labor Code of the Russian Federation of December 30, 2001 N° 197-FZ (as amended on October 11, 2018).

7. *Мясников В.И., Степанова С.И., Сальницкий В.П. и др.* Проблема психической астенизации в длительном космическом полете. М., 2000.

Myasnikov V.I., Stepanova S.I., Salnitskiy V.P. et al. The problem of psychic asthenia in long-duration space flight. Moscow, 2000.

8. Тимме Е.А., Петров В.М. Эргономический риск в длительном космическом полете: понятийный аппарат // Теория и практика прикладных и экстремальных видов спорта. 2012. Т. 24. № 2. С. 10–14.

Timme E.A., Petrov V.M. Ergonomic risk in long-duration space flight: the conceptual apparatus // Teoriya i praktika prikladnykh i ekstremal'nykh vidov sporta. 2012. V. 24. № 2. P. 10–14.

Поступила 15.01.2019

TOPICAL ISSUES OF WORKING HOURS REGULATION FOR MEMBERS OF EXTENDED SPACE MISSIONS

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

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

The article addresses the normative limits of crew working hours adopted during the orbital station Mir program and now on the International space station (ISS) and cosmonauts' overtime with the focus on work content, planning lapses, concrete types of activity and psychophysiological consequences. In the opinion of the authors, the primary reason of cosmonauts' overtime was and is overwhelming mission programs impossible for the actual number of Russian crew members on the ISS.

Key words: overtime work, daily workload, extreme occupations, emotional stress, microgravity, psychic asthenization.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. № 7. P. 33–39.

УДК 612.135+611.08

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРЕБЫВАНИИ В УСЛОВИЯХ ОРТОСТАТИЧЕСКОЙ И АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ

Руденко Е.А., Баранов М.В., Захаров С.Ю.

Научно-исследовательский институт космической медицины ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» ФМБА России, Москва

E-mail: katrud@mail.ru

Целью работы явилось исследование влияния ортостатической гипокинезии на параметры центральной и периферической гемодинамики и сравнение ее эффектов с эффектами модели микрогравитации — антиортостатической гипокинезией (АНОГ). В группах ортостатической гипокинезии наблюдалась вазоконстрикция артериальных и вазодилатация венозных сосудов нижних конечностей, что может быть обусловлено влиянием симпатического отдела вегетативной нервной системы и условиями моделирования пребывания испытателей в вертикальном положении на поверхности Луны. Отмечено уменьшение центральных объемов сердца как в группе АНОГ, так и в группах ортостатической гипокинезии, что является следствием перераспределения крови в организме человека.

Ключевые слова: центральная и периферическая гемодинамика, антиортостатическая гипокинезия, ортостатическая гипокинезия, эхокардиография, ультразвуковое дуплексное исследование сосудов.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53. № 7. С. 40—47.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-40-47

Известно, что факторы космического полета вызывают изменения многих физиологических процессов в организме человека [1–3]. В связи с развитием космических программ, предполагающих пилотируемые полеты за пределы околоземной орбиты – к Луне и Марсу, повышается интерес исследователей к изучению физиологических эффектов пребывания человека в условиях пониженного (по отношению к земному) уровню гравитации.

Уже первые пилотируемые космические полеты показали, что после пребывания в невесомости у космонавтов наблюдается детренированность сердечно-сосудистой системы, главным образом «антигравитационных механизмов», обеспечивающих нормальное кровоснабжение при вертикальном положении тела человека [1, 2, 4]. Это, в свою очередь, приводит к нарушению ортостатической устойчивости при возвращении человека на Землю. Исследования, выполненные в 1982—1993 гг. на

орбитальных станциях, показали, что использование ультразвуковых методов для изучения сердечно-сосудистой системы, позволяет обнаружить более тонкие изменения гемодинамики, не выявляющиеся при регистрации ЭКГ и артериального давления [5–7].

В общем виде сердечно-сосудистую систему можно представить как замкнутую систему артериальных (резистивных) и венозных (емкостных) сосудов, т.е. систему высокого и низкого давления, в которой сердце обеспечивает движение крови и местные регуляторные механизмы. Оба типа сосудов играют свою важную роль в поддержании кровообращения. Исследования гемодинамики ультразвуковыми методами, проведенные в длительных космических полетах, позволили сделать вывод, что наибольшее влияние невесомость оказывает на периферические артериальные и особенно венозные сосуды нижней половины тела [8—11].

Данных об изучении гемодинамики в условиях гипогравитации в настоящее время мало, поэтому целью нашей работы явилось исследование влияния ортостатической гипокинезии (ОГ) на параметры центральной и периферической гемодинамики и сравнение ее эффектов с условиями модели микрогравитации – антиортостатической гипокинезией (АНОГ).

Методика

Эксперименты по моделированию условий микро- и гипогравитации проводили с участием добровольцев в условиях стационара. Проведено 2 серии исследований продолжительностью 21 и 14 сут. Программы экспериментов, включая все процедуры и методики исследований, были обсуждены и одобрены Комиссией по биомедицинской этике при ФГБУ ФНКЦ ФМБА России. От испытателей, принимавших участие в экспериментах, получено письменное Информированное согласие.

В 1-й серии, посвященной сравнению параметров центральной гемодинамики при моделировании

гипо- и микрогравитации, приняли участие 22 здоровых мужчин-добровольцев в возрасте 18-35 лет. Все испытатели находились в условиях АНОГ -6° в течение 5 сут. На 6-е сутки они были разделены на 2 группы: 1-я группа АНОГ (10 человек) оставалась в условиях -6° до 21 сут, до конца эксперимента (модель микрогравитации), 2-я группа ОГ (12 человек) в дневное время находилась в условиях ортостатической гипокинезии +9,6° к горизонту и постоянной опорной нагрузкой на скелетно-мышечную систему, равную 1/6 массы тела (модель гипогравитации, моделирование условий пребывания человека в вертикальном положении на поверхности Луны) [12], а на время ночного сна (с 23.00 до 7.00) переводилась в горизонтальное положение. Исследование параметров центральной и периферической гемодинамики при помощи эхокардиографии (эхоКГ), ультразвукового дуплексного сканирования (УЗДС) артерий и вен шеи, нижних конечностей проводили у всех испытателей в фоне, на 6-е и 21-е сутки.

Поскольку группа ОГ в ночное время находилась в горизонтальном положении, то она подвергалась не только воздействию «пониженной гравитации», но и изменению положения тела в течение суток. Для оценки влияния этих изменений на физиологические параметры, в условиях моделирования гипогравитации, была проведена 2-я серия исследований, в которой приняли участие 24 человека, также разделенных на 2 группы. В группе ОГ16 воздействие заключалось в пребывании испытателей в ортостатическом положении с углом наклона тела относительно горизонтальной поверхности +9,6° на дневной период (с 07.00 до 23.00) и горизонтального положения на ночной период (с 23.00 до 07.00), т.е. в течение суток 16 ч испытатели находились в положении +9,6°, а 8 ч - в гори-

зонтальном положении. Во 2-й группе ОГ24 испытатели находились в ортостатическом положении с углом наклона тела относительно горизонта +9,6° на протяжении всего эксперимента, т.е. подвергалась воздействию моделируемой гипогравитации в течение 24 ч. Продолжительность эксперимента была 14 сут. Исследование параметров центральной и периферической гемодинамики методами эхоКГ, УЗДС артерий и вен шеи, нижних конечностей у групп ОГ16 и ОГ24 проводили в фоне, на 6-е и 14-е сутки. Для проведения эхоКГ во время экспериментального исследования использовался ультразвуковой аппарат SONOS 5500 (Hewlett Packard, США). Для проведения ультразвукового исследования функционального состояния магистральных и брахиоцефальных сосудов использовался ультразвуковой аппарат MyLab70 (Esaote, Италия) с возможностью допплерографического исследования для оценки кровотока.

Все приведенные в статье измерения параметров в группах по экспериментам представлены в виде медианных значений (Md), первого квартиля (Q1, 25-й процентиль, 25 ‰) и третьего 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 р < 0,05.

Результаты и обсуждение

Группа АНОГ

В результате проведенного эксперимента в группе АНОГ было выявлено статистически значимое уменьшение диаметра общих бедренных артерий (ОБА) и подколенных артерий (ПоА). Диаметры ОБА в группе АНОГ слева и справа уменьшились (рис. 1) соответственно на 14,6 и 11,5 % к концу эксперимента (р < 0,01; Wilcoxon). Аналогично уменьшились в группе АНОГ диаметры ПоА — на 23,8 % слева и на 20,6 % справа (р < 0,01; Wilcoxon) (рис. 2).

В группе АНОГ средняя по времени линейная скорость кровотока (ТАМХ, см/с) в ОБА увеличивалась к концу эксперимента слева на 23 %, справа на 21 % (р < 0,05; Wilcoxon), такая же тенденция наблюдалась и в ПоА.

Перераспределение крови из нижней половины туловища в условиях АНОГ находит свое подтверждение и в достоверном уменьшении диаметра вен нижних конечностей (бедренных вен (БВ), больших подкожных вен (БПВ) и подколенных вен (ПВ).

Диаметр БВ слева в группе АНОГ уменьшился на 19.3 % и справа на 25.7 % (p < 0.01; Wilcoxon).

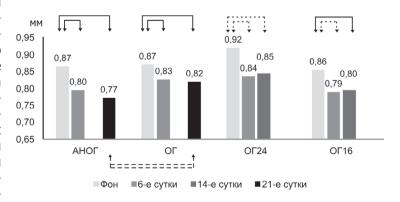


Рис. 1. Сравнительная характеристика диаметра общей бедренной артерии справа у испытателей в различных экспериментах в течение времени (медиана, см): \leftrightarrow p < 0,01, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; \leftarrow p < 0,05, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; \leftarrow p < 0,05, межгрупповые различия Mann — Whitney U-test

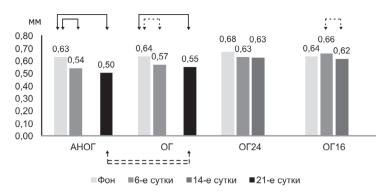


Рис. 2. Сравнительная характеристика диаметра подколенной артерии справа у испытателей в различных экспериментах в течение времени (медиана, см): \leftrightarrow p < 0,01, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; <--> p < 0,05, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; <-=> p < 0,05, межгрупповые различия Mann – Whitney U-test

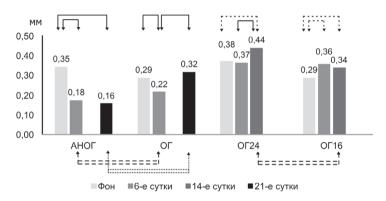


Рис. 3. Сравнительная характеристика диаметра большой подкожной вены слева у испытателей в различных экспериментах в течение времени (медиана, см): \leftrightarrow p<0,01, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; <--> p<0,05, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; <--> p<0,01, межгрупповые различия Mann-Whitney U test; <--> p<0,05, межгрупповые различия Mann-Whitney U test.

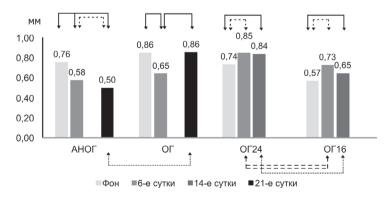


Рис. 4. Сравнительная характеристика диаметра подколенной вены слева у испытателей в различных экспериментах в течение времени (медиана, см): \leftrightarrow p < 0,01, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; <--> p < 0,05, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; <--> p < 0,01, межгрупповые различия Mann — Whitney U-test; <=-> p < 0,05, межгрупповые различия Mann — Whitney U-test

Диаметры БПВ слева и справа уменьшились (рис. 3) соответственно на 54,0 и 49,8 % к концу эксперимента (р < 0,01; Wilcoxon). Аналогично диаметры ПВ в группе АНОГ уменьшились на 33,7 % слева (рис. 4) и на 37,8 % справа (р < 0,01; Wilcoxon). В то же время диаметр внутренних яремных вен (ВЯВ) в группе АНОГ увеличился слева на 23 %, справа на 16,3 % (р < 0,05; Wilcoxon).

В условиях моделирования микрогравитации происходило уменьшение диаметра артерий верхней половины туловища человека. Так, диаметр внутренних сонных артерий (ВСА) справа уменьшился на 5 %, слева — на 13 %, диаметр позвоночных артерий (ПА) справа на 8 %, слева на 15 %. Индексы резистентности (РИ) в ПА увеличивались к 6-м суткам на 6,8 % слева и на 9,3% справа (р < 0,05; Wilcoxon).

Группа ОГ

Исследование диаметров общих бедренных артерий в группе ОГ слева и справа показало, что они уменьшились (см. рис. 1) соответственно на 10 и 6 % к концу эксперимента (р < 0,01; Wilcoxon). Аналогично уменьшились в ходе эксперимента в группе ОГ диаметры подколенных артерий (см. рис. 2) — на 5,3 слева и на 14 % справа (р < 0,01; Wilcoxon). Авторами отмечена тенденция к увеличению линейной скорости кровотока в ОБА и ПА без достижения уровня достоверности. В группе ОГ была выявлена тенденция к увеличению РИ ПоА к концу эксперимента.

В группе ОГ в ходе эксперимента в венах нижних конечностей наблюдалась следующая динамика: диаметры вен статистически значимо (p < 0,01; Wilcoxon) уменьшились к 6-м суткам (соответствует условиям микрогравитации согласно модели эксперимента), но далее, при переходе к условиям гипогравитации, они увеличились до значений, предшествующих эксперименту, или превышали их к концу эксперимента (см. рис. 3 и 4). С 6-х суток при переходе к условиям моделирования гипогравитации выявили статистически значимое увеличение следующих параметров венозного кровотока: диаметров БВ слева и справа на 32 %, БПВ слева на 37,5 %, справа на 48,6 %, ПВ слева на 24,4 %, справа на 19,3 %.

Значимых изменений диаметров BCA, ПА в группе ОГ не выявили.

Группа ОГ24

В артериальном отделе сосудов нижних конечностей в группе ОГ24 отмечали вазоконстрикцию, что сопровождалось уменьшением

диаметра общих бедренных и подколенных артерий к концу эксперимента. Диаметр ОБА справа уменьшился на 8,2 % и слева — на 7,7 % (р < 0,05; Wilcoxon), диаметр ПоА слева уменьшился на 13 %, справа — на 8 % (р < 0,05; Wilcoxon). В ОБА к концу эксперимента было выявлено увеличение ТАМХ слева на 22,8 %, справа на 27,7 %, в ПоА — достоверное увеличение скорости кровотока слева на 28 % и справа на 41 % к 14-м суткам эксперимента (р < 0,05; Wilcoxon).

Венозные сосуды в группе ОГ24 увеличивались в диаметре в нижних конечностях (см. рис. 3 и 4). Отмечалось увеличение диаметра БВ слева на 16 % (р < 0,05; Wilcoxon), справа на 4,2 %, БПВ справа на 17,6 % и слева на 13,6 % (р < 0,05; Wilcoxon), диаметра ПВ справа на 18 %, слева на 12 % (р < 0,05; Wilcoxon).

В группе ОГ24 наблюдалось уменьшение диаметра ВЯВ слева и справа на 17,6 и 13 % соответственно (р < 0,05; Wilcoxon). В рамках исследования была выявлена тенденция к уменьшению диаметра ВСА к концу эксперимента, диаметр ПА значимо не изменялся, но отмечено уменьшение РИ ПА слева и справа на 16 %.

Группа ОГ16

В группе ОГ16 наблюдались схожие с группой ОГ24 явления – вазоконстрикция артерий и расширение вен нижних конечностей.

Отмечено уменьшение диаметра ОБА справа на 7,5 % и слева на 8 %, диаметра ПоА справа на 3 % и слева на 7,3 % (р < 0,05; Wilcoxon). Наблюдалось увеличение диаметра БВ слева на 13,2 %, справа на 5 %; БПВ — слева на 17%, справа на 30 % (р < 0,01; Wilcoxon); ПВ — слева на 14 % (р < 0,05; Wilcoxon) и

справа на 8 % (p < 0,01; Wilcoxon). Средняя скорость кровотока в группе ОГ16 в подколенных артериях статистически значимо снижалась к 14-м суткам гипогравитации (p < 0,05; Wilcoxon), ТАМХ в ОБА значимо не изменилась.

В сосудистом бассейне верхней половины туловища было отмечено статистически значимое снижение диаметра ВСА слева на 6,5 % и справа на 3 %. Индекс резистентности ПА увеличивался слева на 12 % и справа на 6,3 % (р < 0,05; Wilcoxon). Выявлено достоверное уменьшение диаметра ВЯВ слева и справа на 16 и 17,8 % соответственно.

Центральная гемодинамика

В рамках исследований измерялось количество крови, выбрасываемое сердцем за минуту — МОК и количество крови, которое выбрасывает сердце за 1 сокращение, ударный (систолический) объем крови (УО).

В ходе эксперимента была отмечена тенденция к снижению МОК в группе АНОГ к 6-м суткам, что может быть связано с гиповолемией. К концу эксперимента МОК увеличился на 8,3 % по сравнению с фоновыми значениями. УО в группе АНОГ к концу исследования несколько увеличился, однако статистической значимости выявлено не было. При анализе исходных данных выявили индивидуальные разнонаправленные изменения УО и МОК.

В группе ОГ к 6-м суткам отмечено статистически значимое снижение МОК на 31 %, а к концу эксперимента увеличение на 32,5 % по сравнению с 6-ми сутками эксперимента (p < 0,01; Wilcoxon), относительно фоновых значений МОК к концу эксперимента значимо не изменился.

В группе ОГ16 к 6-м суткам эксперимента выявлено уменьшение МОК на 8 %, к концу эксперимента МОК оставался без динамики относительно фоновых значений. УО уменьшился на 11,2 % к концу эксперимента. В группе ОГ24 отмечено увеличение МОК на 4 % к концу исследования, УО значимо не изменился по сравнению с фоновыми значениями.

Изменение фракции выброса (ФВ) представлено на рис. 5. Снижения ФВ ниже нормы не наблюдалось ни в одной из групп.

В ходе экспериментов установили уменьшение размеров предсердий во всех группах к концу эксперимента (таблица). Отмечено статистически значимое снижение конечно-систолического объема левого желудочка (КСО ЛЖ) к концу эксперимента в группе АНОГ. В группах ОГ, ОГ16 и ОГ24 конечно-диастолический объем левого желудочка (КДО ЛЖ) и КСО ЛЖ статистически значимо уменьшался к концу эксперимента.

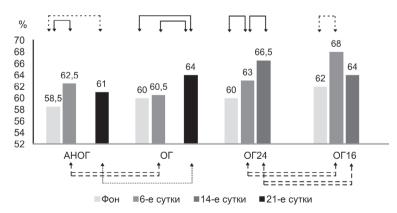


Рис. 5. Сравнительная характеристика фракции выброса левого желудочка у испытателей в различных экспериментах в течение времени (медиана, %): \leftrightarrow р < 0,01, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; <--> р < 0,05, внутригрупповые различия Wilcoxon matched-pair test; <--> р < 0,01, межгрупповые различия Mann — Whitney U-test; <--> р < 0,05, межгрупповые различия Mann — Whitney U-test

Сравнительная характеристика параметров сердечной гемодинамики в различных экспериментах

	מיייים מסאיניי בס במדכאינמנה מייינים מייינים איירם		фон			6-е сутки			21-е сутки	
	памменование параметра, ед. измерения	Медиана	75 ‰	25 ‰	Медиана	75 ‰	25 %	Медиана	75 ‰	25 ‰
				AHOL						
•	Конечно-диастолический объем левого желудочка, мл	103,00	112,25	92,00	5′86	106,75	81,5	103	123,5	79
	Конечно-систолический объем левого желудочка, мл	42,00	49,50	38,50	**98	40	30	40,5**	44,5	32
	Объем левого предсердия, мл	47,50	58,00	43,25	38,5*	45,75	32,25	35*	36,75	30,25
	Объем правого предсердия, мл	32,50	38,75	28,00	27*	29	24,5	29,5	32	24
1				OL						
	Конечно-диастолический объем левого желудочка, мл	86	105	98	5,59	104	84	94**	104	83
COCN	Конечно-систолический объем левого желудочка, мл	38,5	41	36	38	42	33	33*	39	30
	Объем левого предсердия, мл	50,5	62	38	34,5*	40	32	33*	35	30
1	Объем правого предсердия, мл	36	41	30	25,5*	29	23	30,5**	32	27
				OF16						
1	Конечно-диастолический объем левого желудочка, мл	115,5	126,75	105,75	106,5*	115,25	98,5	104,5**	114,25	96,25
	Конечно-систолический объем левого желудочка, мл	44,5	46,25	40	39*	41,2	36,75	38,5*	41	34,25
	Объем левого предсердия, мл	35,5	43	33,75	32*	33,5	30	30,5*	33	28,75
ı	Объем правого предсердия, мл	31,5	37	59	27,3*5	30	25,75	25,5*	27,25	23,5
ı				0124				,		
1	Конечно-диастолический объем левого желудочка, мл	117,5	127,75	109	109,5**	115,25	95,5	103,5*	118,75	93,75
201	Конечно-систолический объем левого желудочка, мл	45,5	54,5	41,75	32,5*	41	27	33,5*	40,5	28,75
1	Объем левого предсердия, мл	42,5	48,25	38,25	36,5*	39,75	33,75	37,5*	38,5	32,5
	Объем правого предсердия, мл	38,5	43,5	33,5	31,5*	34,25	29	31*	34,25	27,75
'										

Примечание. * - p < 0,01; Wilcoxon matched-pair test; ** - p < 0,05; Wilcoxon matched-pair test; ЛП - левое предсердие; ПП - правое предсердие.

В группе АНОГ в ходе эксперимента происходило уменьшение диаметра артерий как в области шеи, так и в нижних конечностях. Если уменьшение диаметра ПА в данной группе можно объяснить перераспределением крови к головному концу, увеличением гидростатического давления, миогенной регуляцией сосудистого тонуса, то в нижних конечностях тонус артерий должен уменьшаться, а диаметр увеличиваться, что выявлено в полетных данных, полученных в условиях микрогравитации [6, 13–15].

Уменьшение диаметра артерий нижних конечностей в группе АНОГ, вероятнее всего, связано с преобладанием активности симпатического звена вегетативной нервной системы и в меньшей степени зависит от гидростатического градиента.

Выявленное в группе АНОГ достоверное увеличение диаметра ВЯВ в ходе эксперимента можно рассматривать как признаки гиперволемии и венозного застоя в цервикоцефалическом регионе [3, 6, 10].

В условиях моделирования гипогравитации в группах ОГ16 и ОГ24 наблюдалось уменьшение диаметра внутренних сонных артерий, вазоконстрикция артериальных сосудов нижних конечностей, что может быть связано с перераспределением крови и повышением симпатического тонуса вегетативной регуляции.

Значимых изменений в диаметрах вен нижних конечностей по сравнению с фоновыми значениями в группе ОГ не было выявлено. Наблюдалось перераспределение крови в вены нижних конечностей при переходе из условий микрогравитации в условия гипогравитации, так как регистрация показателей в группе ОГ с 6-го дня эксперимента происходила в условиях моделирования пребывания испытателей в вертикальном положении на поверхности Луны.

Были определены статистически значимые межгрупповые различия для величины диаметров ОБА и ПоА в группах АНОГ и ОГ на 21-е сутки эксперимента (р < 0,01; Mann — Whitney). При этом значения параметров в группе АНОГ меньше, чем в группе ОГ, что может свидетельствовать о более выраженном влиянии симпатического звена при моделировании микрогравитации.

В группах ОГ16 и ОГ24 выявили вазоконстрикцию артерий и вазодилатацию вен нижних конечностей. Такие изменения в венозной части сосудистого русла нижних конечностей, вероятнее всего, обусловлены, как и в группе ОГ, условиями моделирования пребывания испытателей в вертикальном положении на поверхности Луны и влиянием симпатического отдела вегетативной нервной системы.

На 14-е сутки эксперимента выявлено статистически значимое межгрупповое различие у таких показателей, как диаметр БПВ (р < 0.05; Mann – Whitney) и диаметр ПВ (р < 0.01; Mann

– Whitney), при этом в группе ОГ16 значения меньше, чем в группе ОГ24, что свидетельствует о меньшей дилатации вен нижних конечностей в группе с переменным углом, чем у испытателей в группе с постоянным углом наклона туловища.

ФВ ЛЖ была достоверно выше в конце эксперимента в группе ОГ по сравнению с АНОГ (p < 0.01; Mann — Whitney) и достоверно выше в группе ОГ24 по сравнению с группой ОГ16 (p < 0.05; Mann — Whitney). Вероятно, высокий показатель ФВ ЛЖ поддерживается необходимостью компенсации перераспределения крови к нижним конечностям, это наиболее выражено в группе ОГ24 (см. рис. 5).

Все центральные объемы сердца как в группе АНОГ, так и в группе ОГ снижались к 6-м суткам, эта же динамика наблюдалась к концу экспериментов. В группе ОГ24 отмечалось более выраженное снижение объемов предсердий и КДО ЛЖ, чем в группе ОГ16 (см. табл.). Наиболее вероятной причиной уменьшения перечисленных параметров является снижение венозного возврата вследствие перераспределения крови в организме человека. Поскольку ФВ при этом остается в пределах нормы, то данные изменения сердечной гемодинамики не свидетельствуют о снижении сократительной способности миокарда.

В условиях гипогравитации формируются зоны с различной регуляцией сосудистого тонуса (выше и ниже уровня сердца), формируется новое состояние сердечно-сосудистой системы.

Выводы

- 1. В условиях микрогравитации отмечено уменьшение диаметра венозных сосудов нижних конечностей и вазодилатация вен верхней части туловища. Наблюдаемое уменьшение диаметра артерий нижних конечностей в АНОГ, вероятнее всего, связано с изменением активности симпатического звена вегетативной нервной системы и в меньшей степени связано с гидростатическим градиентом.
- 2. В группах ортостатической гипокинезии (ОГ, ОГ24, ОГ16) наблюдались вазоконстрикция артериальных сосудов с уменьшением их диаметра и вазодилатация венозного отдела нижних конечностей. Данные изменения обусловлены условиями моделирования пребывания испытателей в вертикальном положении на поверхности Луны и влиянием симпатического отдела вегетативной нервной системы.
- 3. Снижение центральных объемов сердца как в группе АНОГ, так и в группах ортостатической гипокинезии (ОГ, ОГ16, ОГ24), вероятно, являются следствием перераспределения крови в организме человека. Эти изменения сердечной гемодинамики не свидетельствуют о снижении сократительной способности миокарда, так как ФВ при этом остается в пределах нормы. При перераспределении

крови к нижним конечностям отмечено достоверное повышение ФВ ЛЖ к концу эксперимента, что более выражено в группе ОГ24.

4. В обеих группах, ОГ16 и ОГ24, наблюдались схожие изменения центральной и периферической гемодинамики, однако адаптационные механизмы сердечно-сосудистой системы более выражены в группе ОГ24.

Список литературы

1. Газенко О.Г., Григорьев А.И., Егоров А.Д. Реакции организма человека в космическом полете // Физиологические проблемы невесомости / О.Г. Газенко, И.И. Касьян, ред. М., 1990. С. 15—48.

Gazenko O.G., Grigoriev A.I., Egorov A.D. Reactions of the human body in space flight // Physiological problems of weightlessness / O.G. Gazenko, I.I. Kasyan, eds. Moscow, 1990. P. 15–48.

2. *Григорьев А.И., Егоров А.Д*. Регуляция сердечно-сосудистой системы человека в условиях микрогравитации // Вестн. РАМН. 2002. № 6. С. 52.

Grigoriev A.I., Egorov A.D. Regulation of the human cardiovascular system in microgravity // Vestn. RAMN. 2002. N_{\odot} 6. P. 52.

3. *Котовская А.Р., Фомина Г.А.* Особенности адаптации и дезадаптации сердечно-сосудистой системы человека в условиях космического полета // Физиология человека. 2010. Т. 36. № 2. С. 78.

Kotovskaya A.R., Fomina G.A. Features of adaptation and disadaptation of the human cardiovascular system in space flight // Fiziologiya cheloveka. 2010. V. 36. N_2 2. P. 78.

4. Григорьев А.И., Котовская А.Р., Фомина Г.А. Особенности функционирования сердечно-сосудистой системы человека в условиях космического полета // Сердечно-сосудистая патология. Современное состояние проблемы. М., 2009. С. 38.

Grigoriev A.I., Kotovskaya A.R., Fomina G.A. Features of human cardiovascular system functioning in space flight // Cardiovascular pathology. Current state of the problem. Moscow, 2009. P. 38.

5. *Котовская А.Р., Фомина Г.А.* Прогнозирование ортостатической устойчивости человека по изменениям артериальной и венозной гемодинамики в условиях невесомости // Физиология человека. 2013. Т. 39. № 5. С. 25–33.

Kotovskaya A.R., Fomina G.A. Prediction of orthostatic human changes of arterial and venous hemodynamics in microgravity conditions // Fiziologiya cheloveka. 2013. V. 39. \mathbb{N}° 5. P. 25–33.

6. Фомина Г.А., Arbeille Ph., Котовская А.Р. и др. Выявление ранних признаков ортостатической недостаточности человека в невесомости по реакции периферического кровотока на ОДНТ // Орбитальная станция «Мир». 2002. Т. 2. Гл. 8. С. 520–529.

Fomina G.A., Arbeille Ph., Kotovskaya A.R. et al. Identification of early signs of orthostatic human insufficiency

in weightlessness by the reaction of peripheral blood flow to LBNP // Orbital station «Mir». 2002. V. 2. Ch. 8. P. 520–529.

- 7. Arbeille Ph., Fomina G., Pottier J.M. et al. Heart and peripheral arteries and veins during the 14 month «Mir» spaceflight // J. Gravit. Physiol. 1996. P. 95–96.
- 8. *Котовская А.Р., Фомина Г.А.* Изменения основных показателей состояния вен нижних конечностей космонавтов в ходе годовых космических полетов // Авиакосм. и экол. мед. 2016. Т. 50. № 6. С. 5–10.

Kotovskaya A.R., Fomina G.A. Changes in the main indicators of the veins' state of the lower extremities of astronauts during annual space flights // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2016. V. 50. Nº 6. P. 5–10.

9. Турчанинова В.Ф., Алферова И.В., Криволапов В.В. Многолетний опыт мониторинга функционального состояния сердечно-сосудистой системы космонавтов в кратковременных и длительных полетах // Пилотируемые полеты в космос. 2016. Т. 3. № 20. С. 112–125.

Turchaninova V.F., Alferova I.V., Krivolapov V.V. Long experience in monitoring the functional state of the cardiovascular system of astronauts in short-term and long-term flights // Pilotiruemye polety v kosmos. 2016. V. 3. № 20. P. 112-125.

10. Фомина Г.А., Котовская А.Р. Изменения венозной гемодинамики человека в длительных космических полетах // Авиакосм. и экол. мед. 2005. Т. 39. № 4. С. 25.

Fomina G.A., Kotovskaya A.R. Changes in venous hemodynamics of the person in long-term space flights // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2005. V. 39. \mathbb{N}^{0} 4. P. 25.

11. Фомина Г.А. Изменения сердечно-сосудистой системы человека в невесомости // Матер. XVI конференции по космической биологии и медицине с международным участием. 2016. С. 245—247.

Fomina G.A. Changes of cardiovascular system in zero gravity // Proc. of XVI Space biology and medicine conference with international participation. 2016. P. 245–247.

12. 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. Method of ground simulation of physiological effects of human stay in hypogravity // Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny. 2015. V. 160. Nº 9. P. 392–396.

- 13. Arbeille P., Shoemaker K., Kerbeci P. et al. Aortic, cerebral and lower limb arterial and venous response to orthostatic stress after a 60-day bed rest // Eur. J. of Appl. Physiol. 2012. V. 112 (1). P. 277–284.
- 14. *Grigoriev A.I., Kotovskaya A.R., Fomina G.A.* The human cardiovascular system during space flight // Acta Astronaut. 2011. V. 68. P. 1495–1500.
- 15. *Herault S., Fomina G., Alferova I. et al.* // Eur. J. Appl. Physiol. 2000. V. 81. № 5. P. 389–390.

Поступила 20.06.2019

STUDIES OF CENTRAL AND PERIPHERAL HEMODYNAMICS DURING EXTENDED ORTHOSTATIC AND ANTIORTHOSTATIC HYPOKINESIA

Rudenko E.A., Baranov M.V., Zakharov S.Yu.

Research Institute of Space Medicine of Federal State Budgetary Unit «Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of the Federal Medical Biological Agency», Moscow

The purpose of the study was to investigate the effects of orthostatic bed rest (OBR) on central and peripheral

hemodynamics and compare to the effects of head-down bed rest (HDBR) as a model of microgravity. The OBR test-subjects showed vasoconstriction of arterial and vasodilation of venous vessels in the lower extremities that could be caused by influence of the sympathetic nervous system and the modeled vertical position on the Moon. Reduction of the central heart volumes due to blood redistribution was observed both in the HDBR and OBR subjects.

Key words: central and peripheral hemodynamics, antiorthostatic hypokinesia, orthostatic hypokinesia, ecocardiography, ultrasound duplex investigation of vessels.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. № 7. P. 40–47.

УДК 61:629.78

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТНОЙ ФИЗИОТЕРАПИИ НА САНАТОРНО-КУРОРТНОМ ЭТАПЕ РЕАБИЛИТАЦИИ КОСМОНАВТОВ

Потапов М.Г., Скедина М.А., Ковалёва А.А.

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

E-mail: inj.ann@rambler.ru

Необходимость полного и быстрого восстановления космонавтов для подготовки к следующему космическому полету предъявляет к их медицинской реабилитации повышенные требования. Приоритетными становятся санаторно-курортные здравницы, широко использующие для реабилитации аппаратные методы физиотерапии. В статье рассматриваются аппаратные методы физиотерапии, применяемые в санаториях и пансионатах при реабилитации космонавтов. Особое внимание уделяется сочетанным методам аппаратных процедур, одновременно использующим сразу несколько воздействий различных физических факторов. Сочетанные физиотерапевтические процедуры могут проводиться при меньших дозировках каждого из применяемых факторов, что уменьшает их нагрузку на организм при увеличении эффективности лечебного воздействия.

Ключевые слова: космонавт, реабилитация, физиотерапия, сочетанные физиотерапевтические процедуры.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. T. 53. № 7. C. 48-54.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-48-54

Профессиональная работа космонавтов на орбите относится к чрезвычайно сложным видам деятельности, сопряженной со значительными эмоциональными, интеллектуальными и физическими нагрузками на фоне постоянного воздействия на организм специфических факторов космического полета (КП), таких, как невесомость, перегрузки, радиационные воздействия, условия гермозамкнутой среды обитания. Важным сопутствующим элементом пилотируемого полета является автономность работы экипажа, относительная его изоляция, гиподинамия. Сложные полетные программы, включая внекорабельную деятельность, а нередко и проведение больших ремонтно-восстановительных работ, вынужденные сдвиги зоны сна и бодрствования предъявляют высокие требования к сохранению необходимых для выполнения полетной программы резервных возможностей организма. Поэтому восстановление функционального состояния космонавтов в послеполетном периоде является весьма актуальной задачей. В данном случае профессиональное здоровье – это способность

организма сохранять защитные и компенсаторные механизмы, обеспечивающие работоспособность, увеличение профессионального долголетия космонавтов с сохранением их социальной активности и обеспечением безопасности полетов.

Результаты многочисленных клинико-физиологических исследований показывают, что после продолжительных КП наблюдаются следующие реадаптационные проявления:

- утомление и нервно-психическая астенизация;
- детренированность сердечно-сосудистой системы к ортостатическим воздействиям и физической нагрузке;
- вестибуловегетативные нарушения (на ранних этапах реадаптации);
- постуральные, локомоторные и координаторные нарушения;
- деминерализация костной ткани, отрицательный баланс кальция и других электролитов;
- изменения в состоянии красной крови (относительная анемия);
- изменения гормонального статуса, водно-электролитного баланса и метаболизма;
 - снижение иммунологической резистентности.

Условно выделяют 2 вида реадаптационных проявлений. Первые обусловлены процессом самого возвращения на Землю: перегрузками на этапе спуска, инерционно-ударными воздействиями в момент приземления, влиянием земной силы тяжести, что требует включения «срочных» компенсаторно-приспособительных реакций, которые можно рассматривать как начальную фазу реадаптации к земным условиям. Начальный этап реадаптации возникает уже при воздействии перегрузок во время спуска с орбиты и непосредственно после приземления космонавта. Важнейшая особенность этого этапа состоит в том, что деятельность организма протекает на высоте его физиологических возможностей, при мобилизации функционального резерва и далеко не в полной мере обеспечивает необходимый реадаптационный эффект.

Другие проявления реадаптации обусловлены последствиями длительного действия на организм непосредственно факторов КП, вызывающих

перестройку многих функциональных систем человека в условиях измененной среды обитания.

Проявления, характерные для первого вида реадаптационных сдвигов, наблюдаются в первые 3-7 дней после приземления и зависят не столько от длительности полета, сколько от индивидуальных адаптационных возможностей. Сюда относят вестибулярные нарушения, проявления стресс-реакции, координационные расстройства и ортостатическую неустойчивость. В то же время такие проявления, как изменения в мышечной системе (снижение тонуса и гипотрофия отдельных групп мышц), синдром последствий длительного перераспределения крови, признаки астенизации, детренированность сердечно-сосудистой системы, гематологические сдвиги, изменения водно-солевого обмена, метаболизма кальция, иммунологические нарушения, скорее всего, следует отнести к изменениям, возникающим в результате длительного влияния невесомости [1].

В настоящее время система медицинской реабилитации космонавтов после длительных КП является полностью сложившейся и показала высокую эффективность в плане профессионального долголетия космонавтов, которые неоднократно выполняли длительные КП. Отличительными особенностями данной системы являются этапность, регулярность, комплексность, адекватность и индивидуальный подход к проведению восстановительных мероприятий [2].

Задачей мероприятий медицинской реабилитации на ранних этапах реадаптации организма космонавтов (в первые часы и дни после длительных КП) является обеспечение максимально щадящих условий перехода к обычной земной жизнедеятельности. Основное внимание уделяется пассивным методам восстановительно-лечебных мероприятий (ограничительный двигательный режим, массаж, бальнеологические процедуры, медикаментозная терапия по показаниям). С 3-го дня реадаптации постепенно расширяются реабилитационно-восстановительные мероприятия (ходьба, лечебная физкультура, занятия в бассейне в сочетании с массажем, тепловыми процедурами и пр.), начиная с щадящее тренирующего, а затем постепенно переходя к тренирующим режимам. Первый этап восстановительных мероприятий после многомесячных КП завершается к 20-21-му дню после приземления. К этому моменту, как правило, купируются основные послеполетные синдромы, такие, как ортостатическая неустойчивость, характерные метаболические и гематологические сдвиги, значительно повышается физическая тренированность. Однако сохраняются остаточные явления послеполетной астенизации, снижение скоростно-силовых качеств отдельных групп мышц, неполное восстановление минеральной плотности костной ткани в отдельных

сегментах, остаточные явления метаболических отклонений от предполетного уровня [3].

Второй этап реабилитации — санаторно-курортный — проводится на базе санаториев и пансионатов с широким спектром бальнеологических и физиотерапевтических процедур. Выбор баз для проведения санаторно-курортного этапа медицинской реабилитации был подробно рассмотрен в работе [4].

Мы рассмотрели проведение санаторно-курортных реабилитационных мероприятий у космонавтов, совершивших длительные КП на международной космической станции (МКС) с 2001 г. по июнь 2019 г. За этот период мероприятия по реабилитации проведены у 40 космонавтов, но, учитывая, что многие из них совершали неоднократные полеты на МКС, была организована и проведена послеполетная санаторно-курортная медицинская реабилитация в 79 случаях: в 35 из них реабилитация проводилась в отечественных пансионатах, в 44 — в зарубежных.

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

Следует отметить, что на современном этапе средний возраст космонавтов превышает 40 лет и в длительных КП принимают участие космонавты в возрасте 60 лет. Большинство космонавтов совершили по 2 КП, а некоторые из них работали в условиях невесомости по 5–6 раз. Данные о возрасте космонавтов, количестве совершенных КП и времени, проведенном в условиях невесомости, приведены в таблице.

Статистический анализ длительных КП показывает, что минимальный интервал между полетами одного и того же космонавта составлял 283 дня. При выполнении первых экспедиций на МКС (2001—2002) у 3 космонавтов интервалы между КП составляли 283, 400 и 685 сут соответственно. После 2013 г. до настоящего времени интервалы между КП были от 2 до 4 лет, что наблюдалось в 25 случаях.

Данные условия предъявляют к медицинской реабилитации повышенные требования для полного и более быстрого восстановления космонавтов к следующему КП. Вследствие этого на санаторно-курортном этапе реабилитации помимо климатогеографических и общевосстановительных мероприятий в последнее время большое внимание стало уделяться проведению физиотерапевтических аппаратных процедур. Приоритетными становятся санаторно-курортные здравницы, широко

Возрастные данные, количество совершенных КП и общее время, проведенное в невесомости космонавтами в период с 2001 г. по июнь 2019 г.

Кол-во	Кол-во космонавтов	Возраст, лет			Кол-во суток в невесомости суммарно за все полеты		
полетов на МКС		Среднее значение*	Минимум	Максимум	Среднее значение*	Минимум	Максимум
1	8	43	39	46	169,5	124	196
2	17	46	39	56	334	199	516
3	9	49	40	60	532	200	551
4	1	44	-	-	552	-	-
5	3	57	55	58	769	672	878
6	2	51	47	55	815	803	827

Примечание. * - медиана.

использующие для реабилитации аппаратные методы физиотерапии.

В настоящее время физиотерапия — наиболее интенсивно развивающаяся область восстановительной медицины вследствие ее высокой эффективности и интенсивности развития новых современных аппаратных средств и методов лечебного воздействия.

В процессе послеполетной медицинской реабилитации космонавтов на санаторно-курортных базах использовались различные виды аппаратных методов восстановительной терапии.

Аппаратный массаж. Процедуры направлены на устранение реадаптационных изменений основных антигравитационных мышечных групп и нормализацию тонуса позной мускулатуры. Применение аппаратного массажа обусловлено его более глубоким воздействием и эффективностью, так как затрагиваются более глубокие и обширные области тканей, усиливается микроциркуляция, улучшается трофика и восстановление происходит в более короткие сроки.

Из аппаратных видов массажа наиболее широко применяются вибро-, гидро-, пневмо-, вакуумный и ультразвуковой массажи и различные их сочетания. Из этих видов высокой эффективностью обладает переменный вакуумный массаж. При вакуумном массаже используют постановку аппликаторов разного калибра, внутри которых с разной амплитудой и частотой создается разрежение. Регулируемое вакуумное воздействие обеспечивает легкое и удобное прилегание аппликаторов к телу, особенно в зонах, неудобных для крепления. Кроме того, импульсный режим вакуумной терапии обеспечивает механический массаж, улучшающий кровоснабжение и метаболизм подлежащих тканей. Под действием этого физического фактора улучшается кровообращение, увеличивается снабжение тканей кислородом, интенсивность обменных процессов, что способствует стимуляции лимфодренажа. В результате проведенного курса улучшается микроциркуляция. нормализуется венозный и лимфатический отток, ускоряется метаболизм. Механическое воздействие на скелетную мускулатуру нормализует мышечный тонус. В основе механизма действия массажа на организм лежит сложный процесс, обусловленный нервно-рефлекторным, гуморальным и механическим воздействием. Нервно-рефлекторный механизм заключается в воздействии на многочисленные и разнообразные нервные окончания, которые находятся в коже, сухожилиях, связках, мышцах, сосудах и внутренних органах. Поток импульсов от рецепторов синтезируется в коре головного мозга и по афферентной проводящей системе вызывает общую ответную реакцию организма. Под влиянием массажа в тканях активизируются высокоактивные вещества (гуморальный фактор): гистамин, ацетилхолин и др., которые в свою очередь улучшают кровоснабжение и обменные процессы тканей. Массаж оказывает и непосредственное механическое воздействие на ткани, в частности, на передвижение жидких сред организма (крови, лимфы, межтканевой жидкости), на растяжение и смещение тканей и т.п. Механический фактор способствует усилению обменных процессов и кожного дыхания, устранению застойных явлений и повышению температуры массируемого участка тела. Происходит увеличение тонуса и эластичности мышц, улучшается их сократительная функция, улучшается кровоснабжение суставов и окружающих их тканей, ускоряется капиллярный кровоток, увеличиваются диаметры сосудов всех звеньев микроциркуляторного русла, что улучшает трофику тканей [5].

Одной из разновидностей аппаратного массажа является аппаратный лимфодренаж.

Аппаратный лимфодренаж (или прессотерапия). Процедура, направленная на восстановление водного баланса в организме, устранение застойных явлений и снятие отеков. Предусматривает выведение излишней жидкости и других продуктов

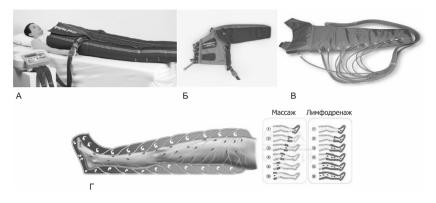


Рис. 1. Схема проведения аппаратного лимфодренажа. А — общий вид устройства аппаратного комплекса; Б — аппликатор для руки; В — аппликатор для ноги; Γ — схема режимов работы аппарата и принцип действия лифмодренажа нижних конечностей от дистального отдела к праксимальному

обмена из межклеточного пространства, способствует восстановлению тока лимфы и венозного кровообращения. При проведении лимфодренажа происходит активное воздействие на всю лимфатическую систему, вследствие чего расслабляются мышцы, расширяются сосуды, лимфа начинает равномерно циркулировать и распределяться по всему организму. Прессотерапия – это вид воздействия на лимфатическую систему сжатым воздухом, который подается в рабочие камеры - манжеты через воздушные шланги. Данный метод представляет собой компрессионное воздействие на подкожную ткань, в результате которого происходит вытеснение излишков внеклеточной жидкости, - лимфодренаж, позволяющий дозировать интенсивность воздействия и изменяющий плотность и проницаемость ткани. Данный вид воздействия представлен на рис. 1.

Для примера один из высокотехнологичных аппаратов, используемый на санаторно-курортных базах, - Lympha Press в комплектации Optimal (Израиль). Аппарат имеет перекрывающиеся независимые рабочие камеры манжеты (брюки до 22 секторов, аппликаторы для руки до 8 секторов), уровень давления в каждой из них задается индивидуально, позволяя точечно работать с нужными зонами. Градиент давления в каждой из камер может быть установлен индивидуально, диапазон давления – 20–90 мм рт. ст. Это дает возможность использовать давление не на всю конечность (при наличии каких-либо противопоказаний), а фрагментарно, для полного отключения или регулирования интенсивности лимфодренажа конкретных частей тела. Лимфатический дренаж запускается или с последовательным постепенным понижением давления, или с перистальтическим массажем. Создаваемое давление постепенно уменьшается в соответствии с последовательным перемещением давления от

дистальной к проксимальной части конечности. Давление подается в две камеры одновременно от дистальной к проксимальной части конечности. На любом этапе одна камера всегда остается накачанной для предотвращения обратного лимфотока.

Электро- и магнитотерапия широко применяется для восстановления опорно-двигательного аппарата, устранения болевых синдромов. Электротерапия — один из методов физиотерапии, основанный на контролируемом воздействии на организм электрического тока, магнитных и электромагнитных полей. Данные виды воздействия являются самыми распространенными из физиотерапевтических процедур и имеют большой спектр разновидностей как по

воздействию, так и по применяемым аппаратным средствам. К наиболее распространенным видам воздействия относятся:

- гальванизация постоянные токи низкого напряжения и небольшой силы (менее 50 мА и 30–80 В). Активизирует кровоток в конечностях, восстанавливает поврежденные нервные волокна и мягкие ткани. Оказывает противовоспалительное влияние, обезболивает, снимает мышечные спазмы. Широко применяется для восстановления позвоночника и суставов;
- электрофорез низкочастотные электрические разряды, усиливающие проникновение лекарственных препаратов через кожу. Двойной лечебный эффект достигается активизацией кровообращения и глубоким впитыванием лекарственных средств;
- дарсонвализация применение переменных импульсных токов высокой (0,2–30 МГц), ультразвуковой (30–300 МГц) и сверхзвуковой частоты (свыше 300 МГц). Используется для купирования болевых синдромов и снятия спазмов гладких мышц, повышает эластичность стенок сосудов;
- диадинамотерапия импульсное воздействие постоянными токами неизменной частоты (50 и 100 Гц) чередованием периодов. Применяется для восстановления конечностей и позвоночника;
- диатермия использование токов высокой частоты, низкого напряжения большой силы. Улучшает кровообращение, усиливает обменные процессы, повышает иммунную сопротивляемость организма. Показана при хронических воспалительных процессах, болевых синдромах;
- амплипульстерапия применение модулированных токов синусоидального характера для восстановления связок и суставов;
- индуктотермия использование высокочастотного магнитного поля с индуцированными

вихревыми токами. Более равномерное распределение токов способствует равномерному прогреву внутренних органов, лучшей переносимости пациентом и обладает более стойким терапевтическим эффектом;

- магнитная терапия - предполагает воздействие магнитного поля на тканевые клетки и жидкости организма человека, используется для снятия болей, укрепляет иммунитет, нормализует нервную систему. Наиболее часто применяют магнитотерапию для суставов, при остеохондрозе позвоночника для купирования болевого синдрома. Воздействие магнитотерапии основано на влиянии магнитного поля 2 видов: постоянного и переменного. Помимо переменного поля применяются пульсирующее, вращающееся и бегущее. Эффект воздействия заключается в действии магнитного поля на организм на молекулярном уровне. Ускоряются физико-химические процессы в организме, при этом увеличивается интенсивность кровотока, снимается отечность конечностей, активируется иммунная система организма, улучшается кислотно-щелочной состав крови. В целом магнитотерапия оказывает противоотечное, противовоспалительное, седативное действие, снимает боль и выводит токсины.

Пневмопунктура (или карбокситерапия) - инъекции медицинского углекислого газа, который вводится подкожно в акупунктурные точки вдоль позвоночника и суставов. Продолжительность полной процедуры составляет 5-10 мин, частичной – 3–7 мин. Эффект от процедуры заключается в усилении местного кровообращения, расширении сосудов и обезболивании. Газовые инъекции эффективны при болевых синдромах опорно-двигательного аппарата (позвоночник, суставы), нарушении кровообращения, изменениях со стороны сердечно-сосудистой системы, проблемах с сосудами конечностей, а также мышечном напряжении и др. Стимуляция местного кровообращения способствует усилению питания связочного аппарата, что важно при послеполетной реабилитации. Для достижения максимального лечебного воздействия важное значение имеют зоны введения газа. Основными участками воздействия являются зоны гипералгезии Захарьина - Геда, триггерные точки, зоны миофибралгии, точки акупунктуры.

Наиболее часто на санаторно-курортных базах применяется дозатор газа медицинский INCO₂ (Словакия). Процедура осуществляется одноразовой стерильной тонкой иглой, так называемой инсулиновой (подкожно). Игла надевается на рабочий зонд, в рабочую часть попадает газ через полиэтиленовую трубку из дозатора электронного устройства, который дозирует назначенное количество газа на одно нажатие на один укол. Газ – высокоочищенный, без примесей иных газов. На рис. 2 представлен метод проведения процедуры

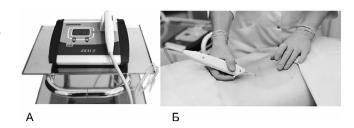


Рис. 2. Оборудование – дозатор газа медицинский INCO₂ (Словакия) и проведение процедуры карбокситерапии. А – внешний вид аппарата; Б – выполнение процедуры

карбокситерапии. Данный дозатор позволяет выполнять введение ${\rm CO_2}$, контролируя скорость течения, время введения, общий объем инъекции и отслеживая процентное содержание вещества во вводимой дозе.

Сразу же после введения газ начинает растворяться в тканевой жидкости и преобразовываться на очень слабую угольную кислоту и с помощью энзимов карбоангидрида диссоциируется на иониты. Происходит кратковременное смещение рН в сторону кислой реакции (эффекта Бора), при последующим соединением с Na+ и K+ происходит изменение рН до щелочной реакции, что приводит к ослаблению мышечных волокон - спазмолитическое действие, расширение капилляров – расширяющее действие и подавление боли – обезболивающее действие. За счет достаточно выраженного антиоксидантного действия СО, влияет на свободные радикалы и поддерживает факторы роста стенок сосудов - неоваскуляризация и рост подкожного коллагена. При установленных дозах в большинстве случаев не более 40 мл на одну дозу (процедуру) при общей дневной дозе 200 мл не были выявлены никакие побочные эффекты [6, 7].

Метод эндо-вако представляет собой сочетание вакуумного массажа (механорецепцию) и воздействие низко- и среднечастотных токов. Продолжительность процедуры, как правило, составляет 10 мин. При этом оказывается комбинированное воздействие на опорно-двигательный аппарат, периферическую нервную систему и микроциркуляцию, что позволяет устранить имеющиеся мышечные боли и спазмы. На рис. 3 представлена схема проведения метода эндо-вако.

В ходе реабилитационных мероприятий, вне зависимости от возраста и количества совершенных КП, практически всем членам экипажей российского сегмента МКС проводили полные курсы (12–14 процедур) ручного и аппаратного массажей и курсы (по 10–12 процедур) различных физиотерапевтческих воздействий, направленных на улучшение лимфодренажа, кровотока и нормализацию мышечного тонуса основных антигравитационных мышц. При наличии остаточных явлений, таких, как боли

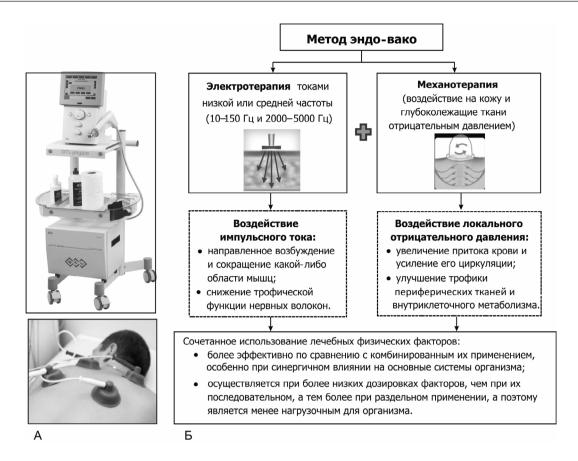


Рис. 3. Схема проведения и воздействия метода эндо-вако. А – внешний вид оборудования и проведение процедуры; Б – эффект от сочетанного воздействия

и дискомфорт в крупных суставах (коленном, плечевом, локтевом), положительный эффект наблюдался при применении процедуры эндо-вако (по 8-10 процедур). Для устранения тянущей боли в области мышц спины использовали карбокситерапию (пневмопунктура выполнялась по паравертебральным линиям вдоль позвоночного столба) – 6–10 процедур. Вместе с этим обязательно присутствовали мероприятия, направленные на общее укрепление организма: различные виды ванн, ежедневные занятия по общей физической подготовке (в бассейне и в тренажерном зале), обязательные, не менее чем полуторачасовые пешие прогулки и терренкур, а также занятия игровыми видами спорта (бадминтон, большой теннис), посещение сауны, русской бани, хаммам (2-3 раза в неделю). Реабилитационные мероприятия у лиц после 50 лет заключались в более щадящем (плавном) переходе режимов при выполнении физических нагрузок. Уровень тренированности у космонавтов от возраста практически не зависел, все они имели хорошую физическую подготовку.

В системе послеполетной медицинской реабилитации космонавтов на санаторно-курортном этапе применялось большое количество различных аппаратных средств и методов восстановительного лечения, имеющих как одиночное, так и сочетанное

терапевтическое воздействие нескольких физических факторов. Все они применялись строго по показаниям, в зависимости от исходного функционального состояния космонавтов. Хорошую эффективность показали наиболее часто применяемые в последние годы (особенно на курортах Чехии, г. Карловы Вары, г. Теплице) аппаратный лимфодренаж, карбокситерапия, метод эндо-вако и многофункциональная спа-капсула.

На наш взгляд, наиболее эффективными являются сочетанные методы аппаратных процедур, где одновременно используются сразу несколько воздействий различных физических факторов. При сочетанном использовании физических факторов происходит потенцирование их физиологического и лечебного действия. Сочетанные физиотерапевтические процедуры могут проводиться при меньших дозировках каждого из применяемых факторов, что уменьшает их нагрузку на организм. Это позволяет сократить длительность восстановительного процесса и делает его менее утомительным [8].

Выводы

1. Комплексная медицинская послеполетная реабилитация позволяет устранить последствия

длительного КП на МКС, восстановить уровень физического здоровья и работоспособность, функциональные резервы и адаптивные возможности космонавтов.

- 2. Использование индивидуальных реабилитационных программ способствовало достижению высокого уровня состояния здоровья космонавтов, необходимого для выполнения следующих длительных КП, и позволило ни разу не превысить нормативно-определенную продолжительность санаторно-курортного этапа реабилитации (21 день).
- 3. Для повышения эффективности реабилитационных мероприятий после длительных КП можно рекомендовать более широкое использование аппаратных методов восстановления, таких, как эндо-вако, карбокситерапия, лимфодренаж, многофункциональная спа-капсула и некоторых других уже на первом этапе послеполетной медицинской реабилитации. Расширение восстановительных мероприятий в острый реадаптационный период позволит ускорить процесс восстановления и приобрести достаточно высокие функциональные резервы организма космонавтов для их последующей профессиональной деятельности.

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

Список литературы

- 1. *Nicogossian A.E., Williams R.S., Huntoon C.L. et al.* (eds.) Space physiology and medicine: from evidence to practice. NY., 2016. DOI:10.1007/978-1-4939-6652-3.
- 2. Почуев В.И., Богомолов В.В., Моргун В.В. и др. Состояние и развитие послеполетной реабилитации космонавтов (организационные и программно-методические аспекты) // Пилотируемые полеты в космос. 2013. № 4 (9). С. 73–81.

Pochuev V.I., Bogomolov V.V., Morgun V.V. et al. The state and progress of post-flight rehabilitation of cosmonauts (organizational and program-methodical aspects) // Pilotiruemye polety v kosmos. 2013. N^{o} 4 (9). P. 73–81.

3. Богомолов В.В., Васильева Т.Д. Реабилитация космонавтов после полета // Здоровье, работоспособность, безопасность космических экипажей. Космическая биология и медицина. Т. IV. М., 2001.

Bogomolov V.V., Vasilyeva T.D. Rehabilitation of cosmonauts after the flight // Health, performance, safety of space crews. Space biology and medicine. V. IV. Moscow, 2001.

4. Потапов М.Г., Васин А.В., Скедина М.А., Ковалева А.А. Санаторно-курортный этап реабилитации космонавтов после космических полетов на МКС — современное состояние вопроса // Авиакосм. и экол. мед. 2018. Т. 52. № 4. С. 34—38. DOI:10.21687/0223-528X-2018-52-4-34-38.

Potapov M.G., Vasin A.V., Skedina M.A., Kovaleva A.A. SPAand health-resort-based rehabilitation of cosmonauts after space mission to the ISS: current status // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2018. V. 52. № 4. P. 34–38. DOI:10.21687/0223-528X-2018-52-4-34-38.

5. *Кочетков А.В., Москвин С.В.* Лазерно-вакуумный массаж в реабилитационной и спортивной медицине: Учеб.-метод. пос. Тверь, 2013.

Kochetkov A.V., Moskvin S.V. Laser-vacuum massage in rehabilitation and sports medicine: Educational and methodical manual. Tver, 2013.

6. Черных В.П., Дроговоз С.М., Зупанец И.А. и др. Карбокситерапия — стиль off label use (лекарственные средства вне инструкции) // Врачебное дело. 2017. № 5–6. С. 112–117.

Chernykh V.P., Drogovoz S.M., Zupanets I.A. et al. Carboxytherapy - off label use style (medicines out of the manual) // Vrachebnoe delo. 2017. N_{\odot} 5–6. P. 112–117.

7. *Зеленкова Г*. Карбокситерапия: Метод. рекомендации. Самара, 2015.

Zelenkova G. Carboxytherapy: Methodical recommendations. Samara, 2015.

8. Никонов Е.Л., Истомина И.С., Сарапулова Н.Ю. Роль и место физиотерапии в реабилитации // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2012. № 4. С. 30–32.

Nikonov E.L., Istomina I.S., Sarapulova N.Yu. The role and place of physiotherapy in rehabilitation // Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik. 2012. N^0 4. P. 30–32.

Поступила 17.07.2019

APPLICATION OF HARDWARE-BASED PHYSIOTHERAPY ON THE SANATORIUM-AND-SPA STAGE OF COSMONAUTS' REHABILITATION

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

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

The necessity of complete and rapid recovery of cosmonauts to make them ready to begin preparation for next missions places heavy demands on their medical rehabilitation. Priority is given to health resorts with widely used hardware-based physiotherapy. The article considers the methods of physiotherapy applied in cosmonauts' rehabilitation with the emphasis on combinative procedures of simultaneous application of various physical factors. The latter can be used at low dosage of each factor with a better therapeutic effect.

Key words: cosmonaut, rehabilitation, physiotherapy, combinative physiotherapy procedures.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. № 7. P. 48–54.

УДК 577.3

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ СНА У ЛЮДЕЙ ВО ВРЕМЯ 2-НЕДЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОЛЕТА К ЛУНЕ

Демин A.B.1, Суворов A.B.1, Fietze I.2, Penzel T.2

¹Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва ²Charité – Universitaetsmedizin, Interdisciplinary Center of Sleep Medicine, Berlin

E-mail: a_demin2005@mail.ru

В ходе 17-суточного эксперимента «Сириус-17» было выполнено суточное мониторирование модифицированного вегетативного индекса Кердо (ВИК) у 9 практически здоровых добровольцев, у 6 человек — членов экипажа и 3 дублеров — контрольная группа. Основными воздействующими факторами являлись условия изоляции и несколько повышенное по сравнению с атмосферой Земли содержание диоксида углерода в атмосфере научно-экспериментального комплекса ГНЦ РФ — ИМБП РАН.

У большинства добровольцев основной группы средняя величина ВИК во время сна в условиях изоляции достоверно изменилась по сравнению с фоновой. В контрольной группе изменения индекса оказались незначительными. Установлены индивидуальные зависимости ВИК от времени сна и найдены аналитические выражения (полиномиальные модели) таких зависимостей. Определены индивидуальные периоды наилучшего восстановления для каждого добровольца. Сделан вывод, что восстановление во время сна добровольцев в условиях изоляции разнонаправлено и достоверно изменилось по сравнению с фоном: восстановление во время изоляции либо улучшалось, либо ухудшалось или оставалось без изменений. Предложен новый метод индивидуальной количественной оценки восстановительных свойств сна практически здорового человека при помощи интегральных характеристик величины ВИК, зависящих от продолжительности сна.

Ключевые слова: сон, изоляция в замкнутом объеме, повышенный диоксид углерода, модифицированный вегетативный индекс Кердо, математическое моделирование, физиологическое восстановление, персонифицированная физиология.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53. № 7. С. 55–64.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-55-64

Известно, что повышенное содержание CO_2 во вдыхаемом воздухе влияет на состояние основных физиологических систем организма человека, в том числе на функционирование кардиореспираторной системы [1], например, после воздействия повышенного напряжения CO_3 на дыхательный центр

головного мозга рефлекторно происходит увеличение легочной вентиляции [2]. С другой стороны, известно, что при нормальных условиях легочная вентиляция у человека снижается во время сна в 1,6-2 раза [3]. В условиях повышенного содержания CO_2 в атмосфере свойства сна человека могут изменяться. При превышении содержания CO_2 в атмосфере МКС по сравнению с содержанием его в земной атмосфере [4] космонавты отмечали недостаточность восстановления после сна, тяжесть в голове и повышенную сонливость [5].

Исследования физиологических показателей гемодинамики во время сна и оценка качества сна в условиях космического полета сохраняют свою актуальность для последующего решения практических задач в области космической физиологии и медицины. Результаты ранее проведенных российскими исследователями экспериментов «Сонокард» и «Космокард» по оценке физиологических функций организма во время сна в ходе длительного космического полета были посвящены в основном оценке вариабельности сердечного ритма в условиях сна [6].

В последние годы все больше подтверждений получает висцеральная теория сна, согласно которой основное назначение физиологического сна - это восстановление функций висцеральных органов [7]. Ранее нами было установлено, что вегетативный индекс Кердо (ВИК) [8], вычисляемый из параметров гемодинамики, может быть использован для оценки восстановительных свойств сна [9]. Согласно методологии, предложенной автором индекса, отрицательные значения индекса Кердо характеризуют относительное преобладание парасимпатического тонуса вегетативной нервной системы [8]. Известно, что во сне усиливается модулирующее влияние парасимпатического отдела вегетативной нервной системы [10] и, следовательно, ВИК будет принимать преимущественно отрицательные значения. Кроме того, обнаружено, что величина ВИК закономерно взаимосвязана с деятельностью респираторной системы, коррелирует с потреблением кислорода, следовательно, и энерготратами организма [11].

В доступной литературе мы не нашли работ о количественных изменениях восстановительных свойств сна и ВИК у практически здоровых людей, находящихся в атмосфере замкнутого объема с контролируемым повышенным уровнем содержания СО₃. Для выявления таких изменений в рамках эксперимента «Сириус-17» было проведено исследование восстановительных свойств сна у 6 практически здоровых добровольцев обоего пола (3 мужчин и 3 женщин) методом суточного мониторирования и последующего математического моделирования изменений ВИК во времени при повышенном в 4–11 раз (диапазон 0,1–0,33 %) содержании СО в атмосфере жилого модуля экспериментального комплекса ГНЦ РФ - ИМБП РАН в условиях 17-суточной изоляции. Выполнено сравнение полученных показателей основной группы с показателями контрольной группы, состоящей из 3 добровольцев (2 мужчин и 1 женщины).

Целью исследования было выявление количественных закономерностей восстановления организма в период ночного сна у практически здоровых людей в условиях изоляции при повышенном содержании СО, в атмосфере замкнутого объема. Для достижения указанной цели потребовалось решение ряда задач: сравнить количественные изменения ВИК добровольцев во время сна в контрольной и экспериментальной группах; оценить количественно изменения индивидуальных статистических характеристик ВИК во время ночного сна в замкнутом объеме гермообъекта по сравнению с фоновыми; найти аналитические выражения изменения ВИК в зависимости от времени сна в условиях изоляции для оценки индивидуальной динамики восстановления сном и определить максимумы и минимумы восстановления во время сна практически здоровых добровольцев, а также предложить способы индивидуальной оценки восстановительных свойств сна на основе аналитических выражений зависимостей ВИК от длительности сна и оценить этими способами восстановление сном у 6 добровольцев эксперимента «Сириус-17».

Методика

Для решения поставленных задач у 6 практически здоровых добровольцев эксперимента «Сириус-17» во время ночного сна мониторировали частоту сердечных сокращений (ЧСС) и диастолическое артериальное давление (ДАД) с помощью портативного сомнологического кардиомонитора SomnoWatch Plus (Somnomedics, Германия). Исследование ВИК в период ночного сна каждого добровольца экспериментальной группы проводили 4 раза: первый раз до изоляции, дважды в

условиях изоляции (на 1-й и 2-й неделях) и после изоляции. Кроме того, исследовали ВИК в период ночного сна у 3 добровольцев контрольной группы - до и после окончания изоляции экспериментальной группы. Продолжительность сна устанавливали на основании дневников мониторирования и визуального контроля за испытателями. ЧСС и ДАД измеряли в каждом сердечном цикле с использованием патентованного алгоритма расчета АД по времени распространения пульсовой волны - на основе измерения времени R-пиков ЭКГ и времени соответствующих им пиков фотоплетизмограммы, калибровочных измерений АД сфигмоманометрическим манжетным тонометром и индивидуальных антропометрических данных добровольцев [12]. По результатам измерений ЧСС и ДАД рассчитывали ВИК без использования неинформативного множителя 100 (%) по формуле

$$V = 1 - \frac{d}{p},$$

где d — диастолическое артериальное давление, мм рт. ст.; p — частота сердечных сокращений, уд./мин; V — модифицированный ВИК.

Представленная методика в рамках комплексной программы «Сириус-17» была одобрена Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

Результаты и обсуждение

Разведочный анализ данных

В результате измерений были получены временные ряды значений величины ВИК за исследуемый период сна для каждого добровольца, послужившие основой для разведочного анализа [13]. Описательная статистика для полученных выборок представлена в табл. 1. В тех случаях, когда на разных этапах эксперимента средние арифметические исследуемых величин численно не совпадали, доверительные интервалы математических ожиданий исследуемых величин не пересеклись (с надежностью 0,99). Это было обусловлено в том числе очень большими объемами полученных выборок (десятки тысяч результатов измерений в каждой выборке за период только 1 ночного сна).

В подавляющем числе случаев значения ВИК, измеренные во время ночного сна, оказались меньше нуля (см. табл. 1). Данный результат является подтверждением того, что во сне на гемодинамику преобладает влияние парасимпатического отдела вегетативной нервной системы и ВИК отражает это явление.

У половины добровольцев (C, K, L) отрицательные средние значения ВИК во время сна в условиях изоляции уменьшились по сравнению с фоновыми средними значениями ВИК. Восстановление во

Таблица 1

Величина ВИК в период ночного сна

Испытатель	Стадия эксперимента	ВИК, среднее арифметическое	СКО	Объем выборки результатов измерений	
	Фон	-0,4	0,13	25 2943	
	1-я неделя изоляции	0,0	0,10	23 5514	
F	2-я неделя изоляции	-0,1	0,10	31 5318	
г	Последействие	-0,2	0,12	38 5177	
	ΔВИК (фон-изол,)	+0,35(↑)			
	ΔВИК (фон-послед,)	0,20(↑)			
	Фон	-0,20	0,16	25 8340	
	1-я неделя изоляции	-0,40	0,21	32 6896	
С	2-я неделя изоляции	-0,40	0,19	38 4794	
C	Последействие	-0,70	0,23	31 9697	
	ΔВИК (фон-изол,)	-0,2(↓)			
	ΔВИК (фон-послед,)	0,5(↓)			
	Фон	-0,7	0,21	25 6646	
	1-я неделя изоляции	-0,6	0,21	29 1274	
N	2-я неделя изоляции	-0,4	0,15	30 6469	
IN	Последействие	-0,5	0,23	27 9463	
	ΔВИК (фон-изол,)	0,20(↑)			
	ΔВИК (фон-послед,)	0,20(↑)			
	Фон	-0,3	0,16	31 0088	
	1-я неделя изоляции	-0,3	0,16	32 4959	
I/	2-я неделя изоляции	-0,5	0,20	34 3517	
K	Последействие	-0,1	0,10	17 9626	
	ΔВИК (фон-изол,)	0,1(↓)			
	ΔВИК (фон-послед,)	0,3(↑)			
	Фон	-0,1	0,1	32 1642	
	1-я неделя изоляции	-0,3	0,14	27 6785	
L	2-я неделя изоляции	-0,2	0,1	27 5432	
L	Последействие	-0,2	0,09	18 4794	
	ΔВИК (фон-изол,)	0,15(↓)	-,		
	ΔВИК (фон-послед,)	0,05(↓)			
	Фон	-0,3	0,2	32 3182	
	1-я неделя изоляции	-0,3	0,17	23 9817	
	2-я неделя изоляции	-0,2	0,15	13 2857	
В					
	Последействие	-0,1	0,17	34 3207	
	ΔВИК (фон-изол,)	0,00			
	ΔВИК (фон-послед,)	0,15(↑)			
	Фон	-0,4	0,17	39 1969	
X	Последействие	-0,4	0,14	26 7972	
	ΔВИК (фон-послед,)	0,0			
	Фон	-0,3	0,16	26 1398	
D	Последействие	-0,4	0,18	27 0512	
	ΔВИК (фон-послед,)	0,10(↓)			
	Фон	+0,1	0,11	30 0452	
Н	Последействие	+0,2	0,1	33 5815	
	ΔВИК (фон-послед,)	0,10(↑)			

Примечание. ВИК – вегетативный индекс Кердо; СКО – среднее квадратическое отклонение.

время ночного сна у них было лучше в условиях изоляции по сравнению с фоновым, что можно рассматривать как позитивное влияние. У 2 добровольцев (F и N) средние значения ВИК в ночной период увеличились в условиях изоляции по сравнению с фоновыми — восстановление во время ночного сна у этих 2 добровольцев в исследуемые сутки было хуже. У 1 добровольца (В) среднее значение ВИК во время сна в условиях изоляции не изменилось по сравнению с фоновым. Разнонаправленные изменения свидетельствуют о высокой индивидуальной вариабельности адаптации к условиям изоляции, имитирующим космический полет.

Подтверждающий анализ данных

Поскольку изменения ВИК были выполнены в режиме реального времени сна добровольцев, то стало актуальным подобрать математическую модель (аналитическое выражение), описывающую изменения ВИК во время сна. Аппроксимация подходящими полиномами различного порядка с последующей количественной оценкой физиологического восстановления во время сна (в условиях изоляции и в фоновом режиме), выполнена с применением метода максимального правдоподобия Фишера. Для сравнения физиологического восстановления в нормальных условиях и в условиях изоляции вычисляли отношения площадей (интегральные характеристики) над аппроксимирующими полиномами на равных интервалах времени, за начало которых выбирали начало периодов сна. Пределы интегрирования задавали по наименьшей продолжительности сна. Вычислительные операции и построения графических интерпретаций выполняли с помощью программ Origin Pro 2015 и Derive 5.05.

Результаты математической обработки данных мониторингов ВИК во время сна в фоновых условиях и в последействии для экспериментальной и контрольной групп представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Сравнение величин ВИК во время сна у добровольцев экспериментальной и контрольной групп – в фоне и в период после изоляции

При сравнении результатов измерений в фоне и последействии у добровольцев контрольной группы выявлено, что средние значения величины ВИК во время сна изменились незначительно: изменения ВИК составили 0,0; 0,1 и 0,1, в среднем по группе 0,07 (см. табл. 1 и рис. 2).

В экспериментальной группе изменения средних значений величины ВИК во время сна в последействии по сравнению с фоном составили 0,2; 0,5; 0,2; 0,3; 0,05; 0,15, в среднем по группе 0,24 (см. табл. 1 и рис. 1).

Величина изменений ВИК в экспериментальной группе была в среднем в 3 раза больше, чем

в контрольной. Следовательно, условия 17-дневной изоляции с повышенным содержанием ${\rm CO_2}$ в атмосфере замкнутого объема оказали существенное действие на регуляторные механизмы, поскольку ВИК и, следовательно, восстановление организма в процессе сна испытателей продолжали быть измененными даже после завершения изоляции.

Сравнение динамики ВИК в период сна до и в условиях изоляции

Результаты математической обработки данных мониторингов ВИК во время сна в фоновых условиях и на 2 временных срезах периода изоляции представлены в табл. 2 на примере одного из добровольцев (C).

Измеренные значения ЧСС (в уд./с) и ДАД (в мм рт. ст.) и соответствующие им моменты времени сна (в часах) позволили вычислить точечные оценки ВИК в реальном времени сна. Далее была выполнена полиномиальная аппроксимация изменений ВИК во времени методом максимального правдоподобия (см. столбец табл. 2, где р – значимость полиномиальной модели по критерию Фишера – Снедекора). Во всех исследованных случаях значения р оказались нулевыми. Графические интерпретации, найденных аппроксимирующих полиномов динамики ВИК во время сна добровольцев в нормальных условиях и в условиях изоляции с повышенным содержанием СО, в атмосфере спального отсека представлены на рис. 3. (на рисунках увеличение восстановительных свойств сна иллюстрируется тем, что полиномы V(t) расположены относительно ниже на координатной плоскости.)

Следующая вычислительная операция заключалась в нахождении площадей под кривыми с помощью интегрирования в пределах времени от 0 до времени окончания сна. Так как продолжительность сна на разных этапах эксперимента была разной, дополнительно интегрировали и по минимальной продолжительности сна. Кроме того, определяли удельную характеристику восстановительных свойств сна – площадь под аппроксимирующим полиномом делили на количество часов сна (см. столбец 3 табл. 2). Дополнительно определяли локальные максимумы и минимумы кривых V(t) (минимумы ВИК соответствуют максимумам физиологического восстановления в процессе сна), области значений функции ВИК от времени (см. пример расчетов для добровольца С – табл. 2). Времена таких локальных экстремумов оказались индивидуальными характеристиками сна для каждого добровольца.

Заключения, вытекающие из математического анализа По добровольцу $\mathbf{F}:\left|S_{0}\right|>\left|S_{2}\right|>\left|S_{1}\right|,\left|S_{0}\right|>\left|S_{2}\right|>\left|S_{1}\right|,\left|S_{0}\right|>\left|S_{2}\right|>\left|S_{1}\right|,\left|S_{1}\right|$ — наибольшее значение интегральных

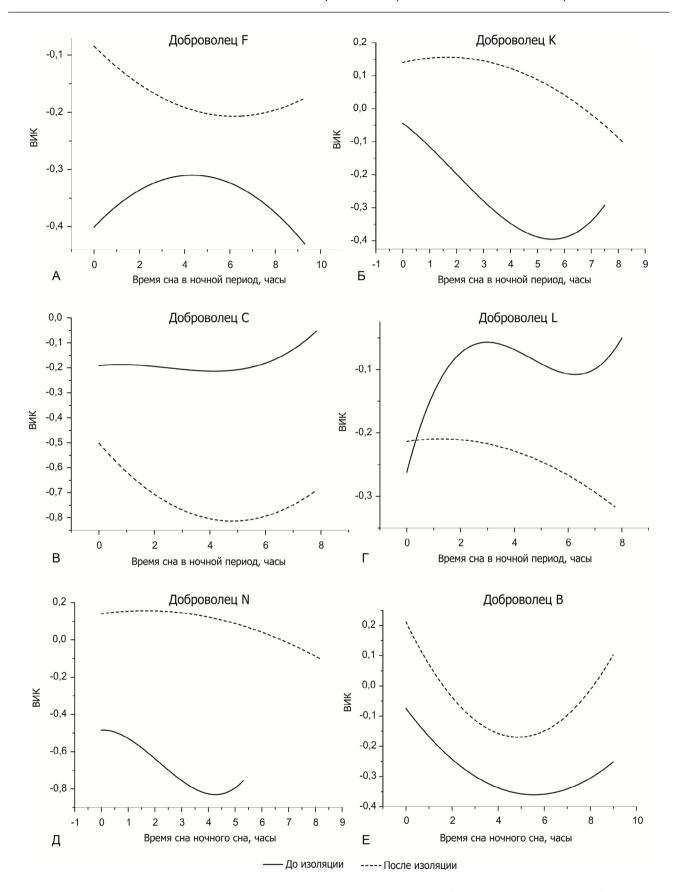
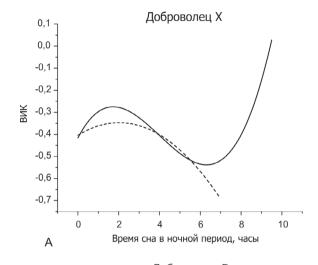
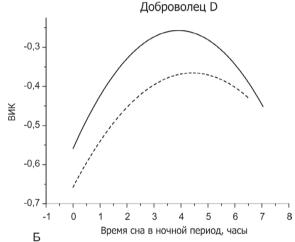


Рис. 1. Динамика индекса Кердо во время сна — до и после периода изоляции (экспериментальная группа). А — доброволец F; F — доброволец F; F — доброволец F; F — доброволец F — добровольцев экспериментальной группы; сплошная линия — фоновое исследование, прерывистая — период последействия





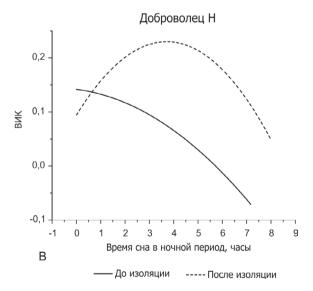


Рис. 2. Динамика индекса Кердо во время сна добровольцев контрольной группы — до и после периода изоляции. А — доброволец X; Б — доброволец D; В — доброволец H. Кривые V(t) — графические интерпретации зависимостей ВИК от времени сна добровольцев из контрольной группы, аппроксимирующих результаты измерений; сплошная линия — фоновое исследование; прерывистая — период последействия

характеристик восстановительных свойств сна добровольца F обнаружено в нормальных условиях.

$$\frac{S_0'}{S_1'} = \frac{-2.75}{-0.298} = 9.2$$
; $\frac{S_0'}{S_2'} = \frac{-2.75}{-0.45} = 6.11$.

В условиях изоляции восстановление после сна у испытателя F было в различные периоды изоляции ниже по сравнению с фоном в 6–9 раз.

По добровольцу С (см. табл. 2): $|S_1| > |S_2| > |S_0|$;

$$\left|S_{\ 1}^{'}\right|>\left|S_{\ 2}^{'}\right|>\left|S_{\ 0}^{'}\right|$$
 ; $\frac{\left|S_{1}\right|}{t_{1}}>\frac{\left|S_{2}\right|}{t_{2}}>\frac{\left|S_{0}\right|}{t_{0}}$ — наибольшее значение интегральной характеристики восстано-

значение интегральной характеристики восстановительных свойств сна у добровольца С достигнуто в условиях изоляции.

$$\frac{S_1'}{S_0'} = \frac{-3,46}{-1,41} = 2,45$$
; $\frac{S_2'}{S_0'} = \frac{-2,73}{-1,41} = 1,94$.

Иначе говоря, восстановление после сна у добровольца С в условиях изоляции было в 2–2,5 раза выше по сравнению со сном в нормальных условиях.

выше по сравнению со сном в нормальных условиях. По добровольцу N (см. табл. 2): $\left|S_{0}\right|>\left|S_{1}\right|>\left|S_{2}\right|$;

$$\left| \frac{\left| S_0 \right|}{t_0} > \frac{\left| S_1 \right|}{t_1} > \frac{\left| S_2 \right|}{t_2} \qquad$$
 — наибольшее значение интегра-

льной характеристики восстановительных свойств сна у добровольца N обнаружено в нормальных условиях (до изоляции).

$$\frac{S_0'}{S_1'} = \frac{-3.6}{-2.92} = 1.23$$
; $\frac{S_0'}{S_2'} = \frac{-3.6}{-2.05} = 1.76$.

Восстановление после сна у добровольца N было в 1-2 раза ниже в условиях изоляции.

По добровольцу К: $\left|S_{2}\right| > \left|S_{1}\right| > \left|S_{0}\right|$; $\left|S_{2}\right| > \left|S_{1}\right| > \left|S_{0}\right|$;

$$\frac{\left|S_{2}\right|}{t_{2}}>\frac{\left|S_{1}\right|}{t_{1}}>\frac{\left|S_{0}\right|}{t_{0}}$$
 — наибольшее значение интегра-

ных характеристики восстановительных свойств сна у добровольца К достигнуто в условиях изоляции (по сравнению с нормальными условиями в фоне).

$$\frac{S_1'}{S_0'} = \frac{-2.3}{-2.0} = 1.15$$
; $\frac{S_2'}{S_0'} = \frac{-4}{-2} = 2$.

Восстановление после сна у добровольца К в условиях изоляции было в 1,15—2 раза выше по сравнению со сном в нормальных условиях.

нению со сном в нормальных условиях. По добровольцу L: $\left|S_1\right| > \left|S_2\right| > \left|S_0\right|$; $\left|S_1\right| > \left|S_2\right| > \left|S_0\right|$;

$$\frac{\left|S_1\right|}{t_1}>\frac{\left|S_2\right|}{t_2}>\frac{\left|S_0\right|}{t_0}$$
 — наибольшие значения интегра-

льной характеристики восстановительных свойств сна добровольца L выявлены в условиях изоляции.

$$\frac{S_1'}{S_0'} = \frac{-2,16}{-0,67} = 3,22$$
; $\frac{S_2'}{S_0'} = \frac{-1,41}{-0,67} = 2,1$.

Восстановление после сна у добровольца L в условиях изоляции было в 2–3 раза выше по сравнению со сном в нормальных условиях.

 Таблица 2

 Количественные характеристики зависимости ВИК от времени и интегральные оценки физиологического восстановления сном добровольца С

Коэффициенты Период аппроксимирующего полинома $V_n(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 a_n t^n$		Интегральные оценки восстановительных свойств сна $S = \int\limits_0^T V_n(t) dt \Big _r S' = \int\limits_0^{T \min} V_n(t) dt$ — абсолютные оценки, S_0/t — удельная оценка	Координаты максимумов и минимумов ВИК - функции V(t) и диапазон изменений значений V и t	
	$a_{\scriptscriptstyle 0}$	-0,19		$V_{max}(t) = (7,83; -0,1)$
	a ₁	0,013	$S_0 = \int_0^{7.83} V_3(t) = -1,43$	$V_{min1}(t) = (0; -0,2)$
	a ₂	-0,01	$S_0/t = 1,43/7,83 = 0,18$	$V_{min2}(t) = (4;-0,2)$
Фон -	a ₃	0,00135	7,58	$t \in [0; 7, 83]_{q}$
	р	0	$S_0' = \int_0^{7.58} V_3(t) = -1,41$	$V \in [-0.2; -0.1] \Delta V = 0.1 $
	a_0	-0,4992		$V_{max1}(t) = (1,4;-0,4)$
1-я неделя - изоляции	$a_{_1}$	+0,1749	$S_1 = \int_{0}^{7,67} V_2(t) = -3,47$	$V_{max2}(t) = (7,67;-0,1)$
	$a_{_2}$	-0,0814	$S_{.}/t = 3,43/7,67 = 0,45$	$V_{min}(t) = (0;-0,5)$
	$a_{_3}$	0,00862		$V_{min}(t) = (4,9;-0,6)$
	n	0	$S_1' = \int_0^{7.58} V_2(t) = -3,46$	<i>t</i> ∈ [0;7,67] ч
	р	0		$V \in [-0.6; -0.1], \ \Delta V = 0.5 $
	a_0	-0,2088		$V_{max1}(t) = (0;-0,2)$
2-я неделя изоляции	a ₁	-0,0967	$S_2 = S_2' = \int_{0.2}^{7,58} V_3(t) = -2,73$	$V_{max2}(t) = (7,58;-0,2)$
	a ₂	0,0112	0 S√t = 2,73/7,58 = 0,36	$V_{min}(t) = (4,3;-0,4)$
	_			<i>t</i> ∈ [0;7,58] ч
	р	0		$V \in [-0.4; -0.2], \ \Delta V = 0.2 $

Примечание. V_o – ВИК; t – время сна (в часах); S – за время t сна; S' – за минимальное (из 3) время (t_{min}) сна.

По добровольцу В:
$$\left|S_{0}^{'}\right| \approx \left|S_{1}^{'}\right| \geq \left|S_{2}^{'}\right|$$
; $\frac{\left|S_{0}\right|}{t_{0}} \approx \frac{\left|S_{1}\right|}{t_{1}} \approx \frac{\left|S_{2}\right|}{t_{2}}$ — интегральные характеристики

восстановительных свойств сна у добровольца В практически не отличались по величине при нормальных условиях и в условиях изоляции, что свидетельствует об отсутствии влияния условий изоляции на сон добровольца В.

Выводы

1. В результате математического анализа полученных данных обнаружено наличие разной

степени выраженности индивидуальных различий в восстановлении организма в период ночного сна при пребывании в одинаковых и контролируемых условиях: восстановление в результате сна может улучшаться, ухудшаться или не изменяться.

- 2. Наиболее вероятными причинами разнонаправленности изменений ВИК в период сна является усиление или ослабление модулирующего влияния парасимпатической вегетативной нервной системы и индивидуальные особенности хемочувствительности дыхательного центра на несколько повышенное содержание СО₂ в атмосфере замкнутого объема.
- 3. Предложенный в статье способ количественной оценки восстановительных свойств сна требует

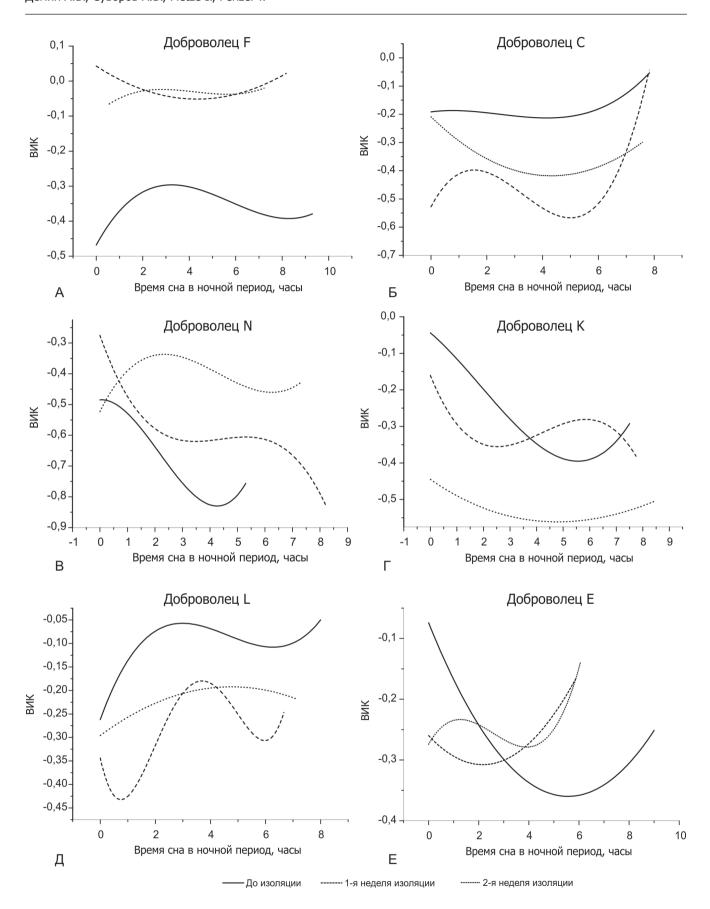


Рис. 3. Кривые V(t) — ВИК в зависимости от времени t сна добровольцев экспериментальной группы — на разных этапах эксперимента (фон, 1-я неделя изоляции, 2-я неделя изоляции). А — доброволец F; В — доброволец C; Д — доброволец N; Б — доброволец K; Г — доброволец L; Е — доброволец В

дальнейшей апробации, в частности, на последующих этапах программы «Сириус» запланированы российско-немецкие исследования с верификацией предложенного метода оценки восстановительных свойств сна с помощью полисомнографии и сомнологических опросников.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН, тема 64.1.

Список литературы

1. Агаджанян Н.А., Полунин И.Н., Степанов В.К., Поляков В.Н. Человек в условиях гипокапнии и гиперкапнии. Астрахань; М., 2001.

Agadzhanyan N.A., Polunin I.N., Stepanov V.K., Polyakov V.N. Man in conditions of hypocapnia and hypercapnia. Astrakhan; Moscow. 2001.

2. *Гайтон А.К., Холл Дж.Э*. Медицинская физиология. М., 2008.

Guyton A.C., Hall J.E. Textbook of Medical Physiology. Moscow, 2008.

- 3. *Coburn R.F., Forster R.E.* Considerations of the physiological variabls that determine the blood carboxyhemoglobin in man // Clin. Invest. 1965. V. 44. P. 1899–1910.
- 4. Богомолов В.В., Почуев В.И., Алферова И.В. и др. Медицинские аспекты обеспечения безопасности полета экипажа МКС-53/54 (Экспресс-анализ) // Пилотируемые полеты в космос. 2018. \mathbb{N}^{9} 3 (28).

Bogomolov V.V., Pochuev V.I., Alferova I.V. et al. Medical aspects of ensuring the safety of the flight of the crew of the ISS-53/54 (Express analysis) // Pilotiruemye polety v kosmos. 2018. \mathbb{N}° 3 (28).

5. Богомолов В.В., Почуев В.И., Алферова И.В. Медицинское обеспечение полета экипажа МКС-37/38 (Экспресс-анализ) // Пилотируемые полеты в космос. 2014. \mathbb{N}° 3 (12). С. 19.

Bogomolov V.V., Pochuev V.I., Alferova I.V. Medical support of the ISS-37/38 crew members (Express analysis) // Pilotiruemye polety v kosmos. 2014. Nº3 (12). P. 19.

6. Методы и приборы космической кардиологии на борту Международной космической станции / Р.М. Баевский, О.И.Орлов, ред. М., 2016. С. 249.

Methods and devices of space cardiology on board the International space station / R.M. Baevskiy, O.I.Orlov, eds. M., 2016. P. 249.

7. *Пигарев И.Н.* Висцеральная теория сна // Журнал высшей нервной деятельности. 2013. Т. 63. № 1. С. 86–104.

Pigarev I.N. Visceral theory of sleep // Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti. 2013. V. 63. № 1. P. 86–104.

8. *Kerdo I.* Ein aus Daten der Blutzirkulation kalkulierter Index zur Beurteilung der vegetativen Tonuslage // Acta Neurovegetativa. 1966. Bd. 29. № 2. S. 250–268.

9. Демин А.В., Иванов А.И., Орлов О.И., Суворов А.В. Патент на изобретение РФ № 2461353. Способ определения уровня физиологического восстановления организма человека. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 20 сентября 2012 г.

Demin A.V., Ivanov A.I., Orlov O.I., Suvorov A.V. Patent for the invention of the Russian Federation № 2461353. The method for determining the level of physiological recovery of the human body. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation September 20, 2012.

- 10. *Kryger M., Roth T., Dement W.C.* Principles and practice of sleep medicine. 6th ed. Philadelphia, 2017.
- 11. Демин А.В. Разработка способа косвенной оценки потребления кислорода человеком // Вестн. Тверск. гос. универс. 2013. \mathbb{N}^9 2. С. 90-98.

Demin A.V. Development of a method for indirect assessment of human oxygen consumption // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 2. P. 90–98.

- 12. Gesche H., Grosskurth D., Kuchler G., Patzak A. Continuous blood pressure measurement by using the pulse transit time: comparison to a cuff-based method // Eur. J. Appl. Physiol. 2012. Jan. V. 10. Nº 112 (1). P. 309–315.
- 13. *Тьюки Дж*. Анализ результатов наблюдений. М., C. 18–19.

Tukey J.W. Exploratory data analysis. Moscow, 1981. P. 18–19.

Поступила 29.01.2019

QUANTITATIVE EVALUATION OF THE SLEEP RECOVERY PROPERTIES IN PEOPLE DURING 2-WEEK ISOLATION SIMULATING A MISSION TO THE MOON

Dyemin A.V.¹, Suvorov A.V.¹, Fietze I.², Penzel T.²

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

²Charité – Universitaetsmedizin, Interdisciplinary Center of Sleep Medicine, Berlin

In the course of 17-d experiment Sirius-17, 24-hour monitoring of modified Kerdo's autonomic index (KAI) was conducted in 9 normal subjects – 6 crew members and 3 backups (control group). The principle environmental factors were isolation and an increased carbon dioxide content in air as compared to Earth's atmosphere.

Most of the crewmembers raised mean KAI during sleep significantly in comparison to baseline values. In the control group KAI changed moderately. Correlation of KAI values with sleep time varied between the subjects; analytic expressions (multinomial models) were found for these correlations. The best period of recovery was deduced for each of the subjects. It was concluded that in isolation recovery during sleep took different directions and changed significantly when compared with baseline data, i.e. it improved, or became worse, or remained constant. We propose a method of evaluating quantitatively the recovery properties of normal subject's sleep using the KAI integral characteristics depending on sleep time.

Key words: sleep, isolation and confinement, elevated carbon dioxide, modified Kerdo's autonomic index, mathematical modeling, physiological recovery, personified physiology.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. № 7. P. 55–64.

УДК 004.946;159.9:629.78;681.51;621.865.8

ИТОГИ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «ПИЛОТ-Т» ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК – РОБОТ» НА ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Бубеев Ю.А.¹, Усов В.М.¹, Сергеев С.Ф.², Крючков Б.И.³, Михайлюк М.В.⁴, Йоханнес Б.⁵

E-mail: bubeev@imbp.ru

В статье рассматривается возможность использования в качестве прототипов для разработки стендов компьютерного моделирования (СКМ) существующих психодиагностических стендов. Представлен, как прототип, бортовой тренажер «Пилот-Т», разработанный для космических экспериментов на орбитальных станциях. СКМ необходимы для современных эргономических проектов в области экстремальной робототехники и изучения психофизиологических возможностей человека-оператора при его взаимодействии с роботами в экстремальных условиях. В статье рассматривается моделирование взаимодействия космонавтов с автономными мобильными роботами на поверхности Луны.

Ключевые слова: взаимодействие человека с роботом, луноход, группа автономных мобильных роботов, стенд компьютерного моделирования (СКМ), виртуальная реальность (VR).

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. T. 53. № 7. C. 65-75.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-65-75

Для реализации проектов освоения Луны: эргономического проектирования средств деятельности космонавтов, отработки сложных полетных операций, моделирования элементов конструкций и лунных комплексов в целом, создания технических средств профессиональной подготовки космонавтов – проводятся исследования по компьютерному моделированию виртуальных прототипов эргатических систем и виртуального окружения человека-оператора (ЧО) в рабочем пространстве.

Компьютерные моделирующие комплексы для изучения типовых режимов пилотирования космических аппаратов и эксплуатации их бортовых систем, способов обнаружения и локализации нештатных ситуаций (НшС) на орбитальных комплексах входят в число широко используемых технических средств подготовки космонавтов.

Полученные решения при разработке технических средств обучения космонавтов с применением технологий виртуальной реальности могут быть полезны для инженерно-психологического проектирования операторской деятельности при работе с роботами-помощниками экипажа в экстремальной среде, например, при освоении Луны [1-3].

В среднесрочных планах космических проектов среди новых вопросов развития космических технологий обсуждаются сценарии внекорабельной деятельности (ВКД) экипажа космонавтов на лунной поверхности. В помощь экипажу в условиях ограниченной поддержки с Земли предлагается использование роботов, как в варианте пилотируемого космонавтом лунного ровера (по аналогии с программой «Аполлон»), так и в различных конфигурациях в составе группы автономных мобильных роботов (АМР) для выполнения строительно-монтажных, буровых, транспортных и других операций. В свете повышенных требований по безопасности выполнения операций ВКД необходимы предварительные экспериментальные проработки методов управления и человеко-машинного интерфейса для учета психофизиологических особенностей деятельности космонавтов при взаимодействии с роботами различных уровней автономности и интеллектуальности. При этом возникают методические вопросы, связанные с выбором предпочтительных способов моделирования деятельности ЧО. При натурном или полунатурном моделировании в экспериментах такого рода встречаются известные трудности, связанные с обеспечением безопасности добровольцев-испытателей. Кроме того, не решены вопросы более широкого плана - о сценариях лунных миссий и деталях построения лунной инфраструктуры, функционале роботов для поддержки ВКД космонавтов на поверхности Луны и др., что затрудняет формирование исходных данных для

¹Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва ²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

 $^{^3}$ Научно-исследовательский испытательный «Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина», Звездный городок, Московская обл.

⁴Федеральный научный центр «Научно-исследовательский институт системных исследований РАН», Москва

⁵Институт авиакосмической медицины, ДЛР, Кельн, Германия

реализации натурных моделей. Многие разработчики робототехнических систем (РТС) на ранних этапах проектирования могут предложить только компьютерные макеты своих изделий. По этой причине для психофизиологического тестирования взаимодействия экипажа с роботами в поисковых исследованиях по тематике «лунной программы» применяются комбинированные решения, допускающие длительное пребывание испытателей в замкнутом объеме (так называемые комплексные изоляционные эксперименты - КИЭ) с моделированием циклограммы полета к планетам и к Луне (включая выполнение ВКД на поверхности планет). Данные решения ориентированы на компьютерные модели, реализующие интерактивную виртуальную среду, аналогично моделям виртуальной реальности на имитационных стендах [4-6]. В работах [7-9] раскрыты особенности выполнения операторских задач в различных имитационных моделях профессиональной деятельности космонавтов, в том числе по ручному управлению стыковкой транспортного корабля «Союз-ТМА» и пилотируемым транспортным средством на поверхности планеты.

Эти данные представляют интерес с точки зрения проектирования перспективных средств операторской деятельности в виртуальном окружении и в плане осуществления объективного контроля за результатами деятельности ЧО и динамикой психофизиологического состояния.

Помимо лабораторного компьютерного моделирования взаимодействия ЧО с удаленными управляемыми объектами в условиях соответствующего виртуального окружения, активно развивается направление космических экспериментов (КЭ) на Международной космической станции (МКС) (серия «Контур-2» и т.д.) для отработки различных способов управления мобильным роботом с борта станции (в том числе на основе визуальной и силомоментной обратной связи), что рассматривается в свете решения проблем телеуправления мобильным роботом на поверхности Луны с окололунной орбиты [10—12].

Появление большого количества работ в области экстремальной робототехники применительно к запросам пилотируемой космонавтики свидетельствует об актуальности использования компьютерных имитационных стендов для реализации моделей деятельности оператора, с помощью которых можно решить ряд таких вопросов как:

- оценка надежности и безопасности той или иной формы взаимодействия космонавтов с «напланетными» (в данном случае лунными) роботами;
- формирование требований к интерфейсу для обеспечения согласованного функционирования участников группы при использовании мобильных роботов, достижения необходимой информационной поддержки космонавтов, своевременного выявления риска в напланетной деятельности;

– определение психологических (в том числе когнитивных) функций и структур, на которые должны быть в первую очередь ориентированы «внешние средства деятельности» космонавта, используемые для обеспечения дистанционного взаимодействия с роботами.

Учитывая исключительно широкое разнообразие видов операторской деятельности, осваиваемых космонавтами в процессе профессиональной подготовки, анализ прототипов для построения адекватных моделей взаимодействия человека с напланетными роботами при ВКД на лунной поверхности целесообразно начинать с анализа условий и средств деятельности при выполнении наиболее ответственных и опасных операций, обращая при этом внимание не только на сходство, но и на их значимые отличия.

Разработка виртуальных моделей деятельности космонавтов в лунных экспедициях с применением роботов:

концептуально-технологический базис

Инженерно-психологическое проектирование взаимодействия человека и робота является технологической частью междисциплинарной области исследований человеческого фактора. В этой связи представляет интерес выбор методологии и методов экспериментального исследования, в том числе базовые возможности метода цифрового моделирования для обеспечения экспериментов в лабораторных условиях. Если следовать изложенной в работе [13] тактике и стратегии интеграции человека и машины, то применительно к экстремальной робототехнике возможно использование следующих взаимодополняющих подходов:

- 1) роботоцентрического (как варианта *«ма-шиноцентрического»* подхода к комплексной автоматизации):
- на этапе проектирования отдельно рассматриваются робототехнические изделия и роботы, предназначаемые для экстремальных условий;
- формулируются повышенные требования к информационно-коммуникационным и управляющим возможностям бортовых систем робота;
- 2) симбиотического на этапе проектирования взаимодействия с группой роботов, для совместного выполнения заданий в экстремальных условиях требующих интеграции ресурсов элементов системы, что в рамках специально спроектированных виртуальных индуцированных сред обеспечивает достижение синергетического эффекта согласованную активность виртуальных моделей при мониторинге и осуществлении контроля в группе АМР со стороны ЧО;
- 3) *антропоцентрического*, который подразумевает приоритет человека в принятии решений при взаимодействии ЧО с роботами.

В качестве проектного базиса виртуальных моделей деятельности в настоящей работе используются:

- модели операторской деятельности, известные из опыта проведения КЭ на МКС, с целью их адаптации к управлению лунным ровером;
- варианты построения компьютерного имитационного эксперимента для изучения процессов взаимодействия «человек робот» и получения информации о поведении и деятельности ЧО;
- известные из авиационной и космической практики средства информационного обеспечения деятельности ЧО в составе систем улучшения ситуационной осведомленности (СтО) и отображения информации (СОИ) с целью: а) осуществления селекции данных из потока поступающий информации; б) проверки целостности, полноты и непротиворечивости данных для подготовки принятия решения; в) адресной доставки космонавту при взаимодействии с группой АМР в доступной для восприятия форме сведений о текущей ситуации.

При поиске прототипов из области пилотируемой космонавтики для реализации моделей взаимодействия ЧО с космическим роботом в лабораторном эксперименте целесообразно руководствоваться критериями:

- антропоцентрической направленности эксперимента;
 - дистанционного режима управления;
 - общесистемных принципов построения;
 - мультивариантности принятия решений;
- многообразия внешних средств деятельности ЧО в различных вариантах построения взаимодействия «человек робот».

С этих позиций естественно обратить первоочередное внимание на разработки стендов-имитаторов, предназначенных для изучения операторской деятельности космонавтов по управлению объектами в автоматизированном и ручном режимах в условиях орбитального полета [10]. К ним также органично примыкают исследовательские стенды (психодиагностические комплексы-тренажеры), которые воспроизводят наиболее значимые элементы деятельности космонавта в КИЭ [10, 14, 15].

Особенности базового прототипа модели деятельности

Проанализируем, используя вышеперечисленные критерии, КЭ «Пилот» (продолжающийся на МКС в модификации «Пилот-Т»), моделирующий динамические операции на пилотируемых космических аппаратах (ПКА) — облета, причаливания и стыковки — и одновременно отвечающий требованиям постановки задач по изучению индивидуальных стилей деятельности в процессе внутригрупповой коммуникации в космическом экипаже, определения сохранности навыков в длительном

полете на основе психодиагностического комплекса-тренажера [10, 14–16]. В КЭ «Пилот-Т» получены новые научные факты по многим смежным направлениям космической медицины, в частности, показана возможность разнопланового применения бортовой экспериментальной аппаратуры не только в целях поддержания навыков выполнения полетных операций, но и для исследования механизмов зрительно-моторной координации, влияния сенсорного конфликта на точность исполнительных действий, индивидуальных поведенческих стратегий на результативность и риск ошибочных действий.

Данный психодиагностический комплекс (в варианте исполнения стенд-тренажер) как прототип отвечает вышеуказанным критериям, что делает правомерной адаптацию этой исследовательской модели деятельности к управлению пилотируемым ровером.

В ГНЦ РФ – ИМБП РАН выполнен цикл работ по изучению возможностей перемещения космонавта по лунной поверхности на лунном ровере в рамках полунатурного моделирования. В реальном физическом исполнении воспроизводилось рабочее место и органы управления лунного ровера, а внешняя визуальная обстановка моделировалась с использованием визуализации на (сферическом) экране интерактивной синтезированной картины лунного ландшафта [5].

В настоящее время это направление исследований развивается совместно специалистами ГНЦ РФ – ИМБП РАН, НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина и МГУ им. М.В. Ломоносова. Результаты моделирования, полученные в ГНЦ РФ – ИМБП РАН в КИЭ с привлечением испытателей-добровольцев, были воспроизведены на базе НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина в послеполетных обследованиях экипажей МКС непосредственно после приземления посредством предварительной имитации этапа посадки спускаемого аппарата на центрифуге по специальному профилю ее вращения [6].

Подводя промежуточные итоги, отметим, что к настоящему времени получен большой массив данных КЭ, связанных с изучением наиболее ответственных динамических режимов управления ПКА и их системами. Эти результаты подробно изложены в ряде публикаций сотрудников ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Космические эксперименты подобной направленности имеют большое теоретическое и практическое значение для изучения человеческого фактора в авиакосмических полетах. В них раскрывается психологическое содержание деятельности, определяются факторы, лимитирующие ее надежность, раскрываются механизмы адаптации ЧО к условиям длительного космического полета.

Это в полной мере относится к дистанционному режиму управления (динамическим) объектом, реализованному в КЭ «Пилот-Т», что отвечает второму

из вышеперечисленных критериев (дистанционный режим ручного управления объектом), и дает предпосылку воспроизведения данной модели деятельности при исследовании пилотируемого варианта управления лунным ровером.

Третьему критерию (общесистемные принципы построения эргатической системы) соответствуют имеющиеся и готовящиеся к постановке КЭ, непосредственно относящиеся к сфере управления РТС на борту МКС. Они не равнозначны по глубине проработки вопросов человеческого фактора, что во многом объясняется «проблемами роста» технологий экстремальной робототехники. Конструкторы стремятся в первую очередь обеспечить техническую надежность изделий, решить проблемы связи по линии «Земля — борт МКС — Земля» и др. [10—12].

С точки зрения обеспечения безопасности космического полета необходимо помнить о рисках нарушения пространственной ориентировки человека при выполнении операторских задач. Причины нарушения пространственной ориентировки в авиакосмическом полете могут быть разными, но прежде всего они связаны с особенностями взаимодействия сенсорных и перцептивных систем в условиях микрогравитации. Возможны и когнитивные нарушения в форме утраты СтО. При нарушениях пространственной ориентировки могут проявляться феномены дезорганизации интеллектуальной деятельности.

Относительно критериев многообразия следует отметить, что эти критерии могут служить ориентирами в методическом плане для конкретизации актуализируемых на каждом этапе деятельности исполнительных актов и операций.

Описание предметной задачи моделирования деятельности в эксперименте «Пилот-Т»

Описание психологического содержания деятельности в сложных технических системах широко отражено в работах специалистов авиакосмической медицины [17–19]. В данных работах показано, что деятельность человека в особой ситуации полета должна начинаться не с заученного автоматизированного действия, а с «переосмысления ситуации на основе новой актуальной приборной информации». От оператора в этих условиях требуется актуализация продуктивных форм психической активности, направленных на поиск и анализ релевантных признаков, оценку текущей ситуации с учетом резерва времени и потенциальных угроз безопасности полета.

Инженерно-психологическая интерпретация взаимодействия человека и техники в сложной тактической обстановке связана с использованием понятия (конструкта) «ситуационная осведомленность» (СтО) или англ. Situational Awareness (SA) [20–22]. Опыт построения модели деятельности для КЭ «Пилот-Т» оказался полезен для проектирования условий применения космических роботов для ВКД. Сформировалось понимание важности такого компонента в составе деятельности ЧО.

Сближение и стыковка на реальном транспортном пилотируемом корабле происходит с использованием приборных инструментальных средств [23, 24]. В данной статье не представляется возможным в деталях остановиться на внешних средствах операторской деятельности, необходимо сделать акцент на описании принципа организации рабочего пространства при управлении подвижными объектами, следуя понятию «антропоцентрический объект» [25], аналогичному понятию «рабочее место и среда деятельности» эргатической системы. В цитируемой работе «антропоцентрический объект» представляет собой реальную физическую оболочку с искусственной воздушной средой обитания человека, с бортовыми измерительными и исполнительными системами, развитой цифровой вычислительной системой с реализованными в ней алгоритмами; кабиной, содержащей информационно-управляющее поле, органы управления и отображения информации. Экипаж в таком объекте позиционирует себя в эгоцентрической системе координат, связанной с кабиной летательного аппарата, а СОИ позволяет сформировать информационную модель для управления перемещением объекта в пространстве. Этой же цели служат современные средства «улучшенного видения», которые дают возможность получить синтезированную картину внешней визуальной обстановки [26, 27].

В модель управления лунным ровером необходимо внести условия получения достоверной информации об удаленности цели, навигационных ориентирах, точной и обновляемой электронной карты местности, показаниях абсолютной скорости перемещения по поверхности и относительной при сближении с другим мобильным объектом, расходе энергетических запасов и др. Значение для СтО может иметь включение в состав СОИ для оператора пилотируемого ровера индикации «вид со стороны» на перемещения лунного ровера по поверхности, в том числе на основе синтезируемой и визуализируемой в формате 3D-интерактивного (масштабируемого с изменяемым ракурсом наблюдения) панорамного изображения и данных цифровой карты местности. В то же время с точки зрения эргономики и психофизиологии труда имеются основания неоднозначно оценивать внедрение синтезируемых картин в состав систем индикации подвижного объекта без глубокого экспериментального обоснования [13].

Для варианта дистанционного управления беспилотным ровером с лунной орбиты или из обитаемой многомодульной лунной базы можно выделить ряд психофизиологических ограничений деятельности,

которые могут происходить из-за задержек передачи информации на большие расстояния, например, при передаче управляющих сигналов между разными наземными центрами управления и орбитальными объектами. Новые риски возникают вследствие изменения восприятия человеком пространственных и временных соотношений. Одной из причин зрительных иллюзий называют эффекты, связанные с характеристикой «константности» восприятия, выражающейся в относительной устойчивости воспринимаемых признаков предметов при изменении условий восприятия. «Константность» придает зрительному образу важную черту — независимость в некоторых пределах от условий восприятия и искажений [28].

Другой способ индикации и соответственно модели деятельности ЧО основан на идеях дополненной и индуцированной реальности. В них существенное улучшение СтО достигается сохранением связи эгоцентрической системы координат человека-оператора с удаленным от управляемого объекта рабочим местом космонавта. При переходе к географическим координатам позиционирования наблюдателя необходима синтезируемая картина обзора для предъявления оператору «вида со стороны» на контролируемую территориальную зону и оперативного отображения перемещения в ней. Параметры движения беспилотного ровера могут отображаться на индикаторах СОИ в традиционном символьно-цифровом виде на основе передаваемых по линиям связи данных измерений от бортовых систем, но при необходимости могут дополняться индикацией (на принципах «улучшенного видения») прогнозируемой траектории в виде положенного «коридора» от текущей позиции активного агента. Построение интерфейса при таком способе организации данных на СОИ может базироваться на реальных органах управления, например, как в КЭ «Контур-2» на МКС с помощью многостепенных ручек управления при ограниченной обратной связи [11].

Существенно большие возможности в отношении простоты и естественности могут дать интерфейсные схемы индуцированной реальности. В них взаимодействия «человек — беспилотный аппарат» осуществляются с помощью виртуальных органов управления. Оператор имеет возможность «разметки» траектории движения виртуальными метками на синтезированной картине внекорабельной обстановки, а система супервизорного управления обеспечивает реализацию по этим меткам (командного) управления с использованием интерфейсов в виде виртуальных пультов и виртуальных перчаток [10].

Групповое взаимодействие робототехнических систем и операторов на Луне

Организация взаимодействия экипажа и неоднородной группы роботов в составе единой команды

является новой для пилотируемой космонавтики и еще малоизученной в практическом плане проблемой. С точки зрения безопасности ВКД с позиций антропоцентрического подхода на ранних стадиях проектирования такой модели можно выдвигать требование необходимости «включения» человека в оперативный контроль ситуации («принцип активного оператора») для принятия решений в нестандартных условиях [18, 29]. Реализация на практике этого положения дает основание говорить о человеке как о высшем звене в циклах коммуникативного взаимодействия в составе смешанной команды за счет организации коммуникации в интересах человека (согласно концепции Б.Ф. Ломова о соответствии автоматов конечным целям человека). При этом не должен теряться эффект группового взаимодействия, при котором каждый специализированный активный агент в благоприятных условиях наилучшим способом обслуживает интересы группы в целом.

Можно предположить, что на начальных этапах применения группы АМР на поверхности Луны, помимо выполнения каждым типом АМР узкоспециализированных функций, в качестве побочного результата целенаправленной активности будет осуществляться цикл постоянного обновления модели цифровой карты местности (МЦК). На ее основе может создаваться и развиваться навигационно-транспортная инфраструктура и реализуется возможность последующего планирования рациональных маршрутов передвижения АМР. Предполагается, что позиционирование и навигацию будут проводить сами интеллектуальные АМР, используя бортовые сенсоры, СТЗ и прочее бортовое оборудование, а интегрированную картину данных ЧО получает через каналы телеметрии на рабочем месте, осуществляя при необходимости обратную связь через диспетчерский пункт посредством командных предписаний.

В этом аспекте виртуальные интеллектуальные среды становятся новым информационным инструментом в активе средств деятельности ЧО для мониторинга поведения (разнородных) интеллектуальных агентов.

Предварительное описание информационного контента, являющегося предметом коммуникации ЧО и группы АМР, предназначено для информирования о текущей конфигурации группы и потенциальных конфликтах интересов АМР в конкуренции за ресурсы, одновременно служит основой для подготовки принятия решений.

В дистанционном режиме ЧО может оперативно получать от группы АМР динамически меняющуюся картину маршрутов передвижения в сложной внешней среде, в которой помимо естественных препятствий движению находятся искусственные элементы лунной инфраструктуры. Все эти данные

собираются и формируются на основе телеметрической информации, передаваемой от АМР. В конечном итоге оперативная информация аккумулируется и обобщается в виртуальных интеллектуальных средах, создавая единую картину, обновляемую по мере поступления новых данных. Для того чтобы на основе этой информации ЧО мог ориентироваться в пространстве, он должен быть способен представить свое местоположение:

- в координатах «внешнего наблюдателя» («вид со стороны» на визуальную картину с мобильными объектами, например, на навигационном электронном индикаторе);
- в эгоцентрической системе координат, связанной с одним из мобильных объектов;
- в географических координатах МЦК непосредственного окружения AMP.

Можно констатировать, что в каждом из этих достаточно разных в психологическом отношении вариантов речь идет о визуальных образных представлениях человека. Например, в случае, если ЧО занимает позицию «вид со стороны», его деятельность в большей степени напоминает работу диспетчера системы управления воздушным движением (УВД), а при наблюдении рабочего окружения, визуализируемого в «эгоцентрической» системе координат на подвижном объекте, можно найти сходство с работой штурмана летательного аппарата.

К настоящему времени в авиакосмической области накоплен большой опыт построения бортовых СОИ, а в ходе инженерно-психологических экспериментов определены и сформулированы основные принципы разработки новых моделей деятельности ЧО. Они базируются на теоретических обобщениях исследований отечественных авиационных психологов, сформулировавших концепцию «образ полета» как разновидности концептуальной модели, адаптированной к особенностям летного труда, предложили конструктивные решения в области повышения безопасности полета [29].

Несмотря на многообразие подходов к проблеме отображения информации на бортовых электронных индикаторах, можно выделить два основных варианта предъявления информации [30, 31]. Первый находит выражение в попытках сформировать картинный вид окружающего пространства, подобный тем визуальным образам, которые мог бы наблюдать человек при прямом визуальном контакте. Второй – ориентирован на преимущественное представление полетной инструментальной информации в символической форме в виде шкал и индексов [31–33]. Наиболее значимые для организации человеко-машинного взаимодействия события происходят на психологическом уровне восприятия и конструирования обстановки и построения обобщенного «навигационного образа» как составной части «образа полета», который обеспечивает принятие решений [29, 34]. При построении психологической характеристики модели деятельности необходимо акцентировать внимание на вопросах информационной поддержки работы регуляторных механизмов, которые позволяют ЧО воссоздать «целостный и динамичный образ внешней обстановки», распределить внимание между различными источниками информации, выполнить прогнозирование развития ситуации (ее пространственно-временного образа), оперативно включиться в процесс управления при возникновении НшС или выявлении конфликта интересов контролируемых агентов [29, 30].

Для улучшения СтО возможно применение внешних средств деятельности ЧО:

- сбор с помощью бортовых систем АМР данных о рабочей среде, местоположении искусственных объектов, запрашиваемых ресурсах, текущих задачах и доставки исходных данных, получаемых в дистанционном режиме от АМР, для интегрированного представления на рабочих местах членов экипажа с учетом их специализации и распределения функций;
- обработка и представление визуальной информации с использованием электронных приборов и индикаторов;
- подготовка данных о потенциальных конфликтах интересов для принятия решений о предотвращении коллизий АМР;
- реализация принятого решения на основе имеющихся средств дистанционного управления с учетом резерва времени.

Возможный вариант улучшения СтО в данной конфигурации интеллектуальных АМР — применение технологии мультиагентных систем (МАС) для организации потоков информации, приведения ее в доступную форму (3D-индикация виртуального окружения), обеспечения адресной доставки лицу, принимающему решения. В этом случае «виртуальные агенты» могут выступать как источники и как потребители передаваемой между участниками взаимодействия ориентирующей информации «от имени» реальных АМР, функционирующих в реальной среде.

Этот подход, развивающий идеи индуцированной виртуальной реальности, направлен на то, чтобы замещать в контуре коммуникации реально существующие АМР их «виртуальными двойниками», способными выборочно и оперативно собрать, обработать и адресно доставить космонавту непротиворечивый состав исходных данных для принятия решений.

Поставленные интерфейсные задачи могут быть возложены на специально спроектированную программную среду, предназначаемую для построения виртуального интеллектуального окружения.

В ряде работ отмечается, что развитие тренажерных систем и систем обеспечения комплексного

психофизиологического эксперимента во многом определяются совершенствованием программного обеспечения технологии виртуальной реальности и пользовательских интерфейсов для человеко-машинного взаимодействия [2, 35–38].

Моделирование визуальной обстановки на основе технологий виртуальной и дополненной реальности представлено во многих зарубежных и отечественных разработках, что позволяет ожидать в ближайшем будущем появление доступных описаний базовых решений по компьютерному моделированию визуальной обстановки.

При создании технических средств подготовки космонавтов используется ряд отечественных разработок, обладающих потенциалом для внедрения в смежных областях. Например, в программном продукте GLview решены вопросы создания реалистичного изображения интерьеров бортовых систем, внешней поверхности пилотируемых комплексов, и, что особенно важно, разномасштабного отображения синтезируемого изображения с разных ракурсов (при мультипортовом выводе на монитор) [1, 3, 36].

При выборе методов экспериментального исследования как одно из возможных решений возможно рассматривать применение исследовательских информационно-моделирующих комплексов (ИИМК), позволяющих:

- проектировать ситуационную обстановку на поверхности Луны;
- формировать сценарии компьютерного эксперимента для задания причинно-следственных факторов коллизий роботов и их исходов при различной локализации аварии и степени участия человека в ее ликвидации;
- дать оценку по критериям опасности для человека;
- отработать типовые схемы взаимодействия и рациональные действия членов экипажа в единой смешанной команде;
- управлять состоянием рабочей среды и активностью виртуальных агентов.

Очерченный в статье круг вопросов сегодня успешно решается в междисциплинарных полях эргономики и инженерной психологии с помощью новых, иммерсивных моделей, базирующихся на технологиях виртуальной и дополненной реальности, цифрового и управляемого полунатурного моделирования [39, 40].

Выводы

1. В пилотируемых программах освоения космоса существенная роль отводится освоению Луны с созданием инфраструктуры для экипажей лунных миссий. Опираясь на достигнутый уровень безопасности орбитальных полетов, важно обеспечить и

- в перспективных проектах освоения Луны преемственность традиций активного участия экипажа в разрешении проблемных ситуаций на основе оперативной оценки обстановки и способности адекватно реагировать на потенциально опасные для жизни и здоровья аварийные ситуации. Робототехническая поддержка экипажа в условиях автономной деятельности на Луне должна рассматриваться как составная часть стратегии обеспечения безопасности.
- 2. Для решения проблемы совершенствования методов и средств обеспечения безопасности экипажа при освоении Луны в дополнение к существующим методам натурного эксперимента и КИЭ с участием испытателей-добровольцев предлагается использовать модели имитационного моделирования с участием робототехнических систем, позволяющие изучать в широком диапазоне начальных условий варианты развития нештатных ситуаций.
- 3. Существенным условием развития технологий космической робототехники остается антропоцентрическая направленность исследований надежности человеческого звена по дистанционному контролю и управлению роботами. Это положение существенно и для создания моделей в лабораторных условиях, и в планируемых КЭ на МКС как современном полигоне для испытания новых решений. В качестве прототипа для отработки конкретных форм взаимодействия в системе «человек робот» в статье предложено рассматривать КЭ «Пилот-Т».

Работа поддержана темой РАН № 63.2 «Исследование интегративных процессов в центральной нервной системе, закономерностей поведения и деятельности человека в условиях автономности и под влиянием других экстремальных факторов среды» и темой государственного задания Минобрнауки РФ № 25.8444.2017/БЧ.

Список литературы

1. Крючков Б.И., Михайлюк М.В., Усов В.М. Технологии моделирования для эргономического проектирования системы «космонавт — манипуляционный робот — рабочая среда» // Материалы конф. «Управление в морских и аэрокосмических системах» (УМАС-2014). СПб., 2014. С. 367–377.

Kryuchkov B.I., Mikhailyuk M.V., Usov V.M. Modeling technologies for ergonomic design of the system «cosmonaut – manipulation robot – working environment» // Proceedings of the conference «Management in the marine and aerospace systems» (UMAS-2014). St. Petersburg, 2014. P. 367–377.

2. Крючков Б.И., Усов В.М. Создание моделей виртуальной реальности, как способ обучения космонавтов взаимодействию с роботом-помощником и как условие

определения потенциальных областей его полезного применения // Робототехника и техническая кибернетика. 2013. № 1 (1). С. 46–52.

Kryuchkov B.M., Usov V.M. Creation of virtual reality models as a way of training cosmonauts to interact with the robot assistant and as a condition of determining potential areas of its useful application // Robototekhnika i kibernetika. 2013. \mathbb{N}_{2} 1 (1). P. 46–52.

3. Бурдин Б.В., Михайлюк М.В., Сохин И.Г., Торгашев М.А. Использование виртуальных 3D-моделей для экспериментальной отработки бортовых полетных операций, выполняемых с помощью антропоморфных роботов // Там же. С. 42–46.

Burdin V.B., Mikhaylyuk M.V., Sokhin G.I., Torgashev M.A. Using virtual 3D-models for experimental development of on-board flight operations performed using anthropomorphic robots // Ibid. P. 42–46.

4. Швед Д.М., Гущин В.И., Бубеев Ю.А. и др. Основные результаты психофизиологических исследований в эксперименте «Марс-500» // Вестник РАН. 2014. Т. 84. № 3. С. 212–221.

Swed D.M., Gushchin I.B., Bubeev U.A., Vasil'eva G.Yu. et al. The main results of psycho-physiological investigations in experiment «Mars-500» // Vestnik RAN. 2014. V. 84. N° 3. P. 212–221.

- 5. Kryuchkov B.I., Usov V.M., Chertopolokhov V.A. et al. Simulation of the cosmonaut-robot system interaction on the lunar surface based on methods of machine vision // Int. Arch. of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Inf. Sci. 2017. V. 42. Nº 2-W4. P. 129–133.
- 6. *Крючков Б.И., Карпов А.А., Усов В.М.* Перспективные подходы к применению сервисных роботов в области пилотируемой космонавтики // Труды СПИИРАН. 2014. № 32. С. 125-151.

Kryuchkov B.I., Karpov A.A., Usov V.M. Promising approaches to the use of service robots in manned cosmonautics // Trudy SPIIRAN. 2014. Nº 32. P. 125–151.

7. Боритко Я.С., Гущин В.И., Бубеев Ю.А. Операционные подходы к наземному моделированию длительной экспедиции для изучения индивидуального стиля операторской деятельности в интересах отбора космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. 2018. № 1 (26). С. 56–70.

Boritko Ya.S., Gushchin V.I., Bubeev Yu.A. Operational approaches to the ground modeling of a long expedition to study the individual style of an operator activity in the interests of the cosmonauts' selection // Pilotiruemye polety v kosmos. 2018. N° 1 (26). P. 56–70.

8. Ушаков И.Б., Бубеев Ю.А., Гущин В.И., Боритко Я.С. К проекту освоения Луны: некоторые инженерно-психологические и медицинские проблемы // Космическая техника и технологии. 2015. № 3 (10). С. 68–80.

Ushakov I.B., Bubeev Yu.A., Gushchin V.I., Boritko Ya.S. To the project exploration of the moon: some engineering and psychological and medical problems // Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii. 2015. Nº 3 (10). P. 68–80.

9. *Крикалев С.К., Крючков Б.И., Курицын А.А., Харламов М.М.* Эксперименты с участием экипажей МКС

в интересах осуществления полета на Марс // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 6. Ч. 2. С. 278–287.

Krikalev S.K., Kryuchkov B.I., Kuritsyn A.A., Kharlamov M.M. Experiments with the participation of the ISS crews in the implementation of the flight to Mars // Izvestiya Tul'skogo gosuniversiteta. Tekhnicheskie nauki. 2013. Is. 6. Part 2. P. 278–287.

10. Сергеев А.В., Гук М.Ю. Управление мобильным роботом космического назначения с применением виртуальной реальности и силомоментного очувствления // Пилотируемые полеты в космос. 2018. Вып. 4. С. 44–52.

Sergeev A.V., Guk M.Yu. Control of a space mobile robot using virtual reality and force-moment perception // Pilotiruemye polety v kosmos. 2018. Is. 4. P. 44–52.

11. Заборовский В.С., Кондратьев А.С., Силиненко А.В. и др. Удаленное управление робототехническими объектами в космических экспериментах серии «Контур» // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2012. № 6 (162). С. 23–32.

Zaborovsky V.S., Kondratyev A.S., Silinenko A.V. et al. Remote control of robotic objects in space experiments of the Contour series // Scientific and technical sheets of SPb SPU. Informatics. Telecommunications. Management. 2012. \mathbb{N}° 6 (162). P. 23–32.

12. Гребенщиков А.В., Сапрыкин О.А. Космический эксперимент «ТЕЛЕДРОИД»: «Исследование возможностей использования дистанционно управляемого антропоморфного робота для операционной поддержки деятельности космонавтов в условиях орбитального полета». [Электронный ресурс]. URL: knts.tsniimash.ru/ru/src/Conf_InfRes/ГРЕБЕНЩИКОВ_А_В-пер.pdf. (Дата обращения: 10.02.2019).

Grebenshchikov A.V., Saprykin O.A. The Space experiment «TELEDROID»: «A Study of the possibilities of using remote-controlled anthropomorphic robot for operational support activities of cosmonauts under conditions of orbital flight». [Electronic resource]. URL: knts.tsniimash.ru/ru/src/Conf_InfRes/ГРЕБЕНЩИКОВ_A_B-пер.pdf. (Application date: 10.02.2019).

13. *Сергеев С.Ф.* Человеческий фактор в самолетах 6-го поколения: проблемы техносимбиоза // Механика, автоматизация, управление. 2018. Т. 19. № 12. С. 806–811.

Sergeev S.F. The human factor in the aircraft of the 6th generation: problems of technosymbiosis // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2018. V. 19. Nº 12. P. 806–811.

14. Сальницкий В.П., Мясников В.И., Бобров А.Ф. и др. Исследование надежности деятельности космонавта на различных этапах длительного космического полета (эксперимент «Пилот») // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. Т. 2. Медикобиологические эксперименты. М., 2002. С. 285—300.

Salnitsky V.P., Myasnikov V.I., Bobrov A.F. et al. The research of reliability of the activity of cosmonauts at various stages of a long space flight (experiment «Pilot») // The orbital station «Mir». Space biology and medicine. V. 2. Medical and biological experiments. Moscow, 2002. P. 285–300.

15. *Сальницкий В.П., Бронников С.В., Городецкий И.Г.* Психодиагностический комплекс-тренажер для оценки и прогнозирования надежности профессиональной деятельности космонавта // Приборы. 2008. № 4. С. 23–28.

Salnitsky V.P., Bronnikov S.V., Gorodetsky I.G. The psychodiagnostic complex-simulator for evaluation and prediction of reliability of the professional activity of a cosmonaut // Pribory. 2008. Nº 4. P. 23–28.

16. Счастливцева Д.В., Котровская Т.И., Бубеев Ю.А. и др. Анализ данных эргатической системы привыполнение космонавтами имитационных задач их профессиональной деятельности во время длительного космического полета // Междунар. конф. «Пилотируемое освоение космоса». М., 2016. С. 115.

Schastlivtseva D.V., Kotrovskaya T.I., BubeevYu.A. et al. The analysis of the data of the ergatic system when cosmonauts perform simulation tasks of their professional activities during the long space flights // International conference «Manned space exploration»: Abstract book. Moscow, 2016. P. 115.

17. Завалова Н.Д., Лапа В.В., Пономаренко В.А. Методологические вопросы анализа познавательных процессов оператора в критических ситуациях // Вопросы кибернетики. Проблемы измерения психических характеристик человека в познавательных процессах. М., 1980. С. 132–148.

Zavalova N.D., Lapa V.V., Ponomarenko V.A. Methodological issues of the analysis of cognitive processes of the operator in critical situations // Questions of cybernetics. Problems of measurement of human mental characteristics in cognitive processes. Moscow, 1980. P. 132–148.

18. Завалова Н.Д., Пономаренко В.А. О методологических основах изучения ошибочных действий человека, управляющего летательным аппаратом // Деятельность космонавта в полете и повышение ее эффективности / Г.Т. Береговой, Л.С. Хачатурьянц, ред. М., 1981. С. 100—116.

Zavalova N.D., Ponomarenko V.A. About the methodological foundations of the study of erroneous actions of the person operating the aircraft // The activities of the cosmonaut in the flight and enhancing its effectiveness / G.T. Beregovoy, L.S. Khachaturyantz, ed. Moscow, 1981. P. 100–116.

19. Зиньковская С.М. Психологические аспекты подготовки летчиков к действиям в особых ситуациях // Педагогическое образование. 2009. № 4 . С. 83–90.

Zinkovskaya S.M. Psychological aspects of training pilots to act in special situations // Pedagogicheskoe obrasovanie. 2009. NP 4. P. 83-90.

- 20. Endsley M.R. Measurement of situation awareness in dynamic systems // Human Factors. 1995. V. 37. P. 65–84.
- 21. Stanton N., Chambers P., Piggott J. Situational awareness and safety // Safety Sci. 2001. № 39 (3). P. 189–204.
- 22. *Vu K.-P., Chiappe D.* Situation awareness in human systems integration // APA handbooks in psychology / D.A. Boehm-Davis, F.T. Durso, J.D. Lee, eds. Washington, 2015. P. 293–308.

23. Интегрированная система отображения информации космического корабля «Союз-ТМА» и пульт ручного контура управления Российского сегмента МКС «Альфа». [Электронный ресурс]. URL: http://astronaut.ru/bookcase/article/ar151.htm. (Дата обращения: 18.02.2019).

The Integrated information and control system of the «Soyuz-TMA» spacecraft and the control console of the manual control loop of the Russian segment of the ISS «Alfa» [Electronic resource]. URL: http://astronaut.ru/bookcase/article/ar151.htm. (Application date: 02.18.2019).

24. Тяпченко Ю.А. Системы отображения информации типа «Нептун» космических аппаратов «Союз-Т», «Союз-ТМ». [Электронный ресурс]. URL: http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/publications/neptun_1.pdf. (Дата обращения: 18.02.2019).

Tyapchenko Yu.A. The information display System of the «Neptune» spacecraft «Soyuz-T», «Soyuz-TM». [Electronic resource]. URL: http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/publications/neptun_1.pdf. (Application date: 18.02. 2019).

25. Желтов С.Ю., Федунов Б.Е. Бортовые интеллектуальные системы тактического уровня: решение задачи оперативного целеполагания на борту антропоцентрического объекта // Матер. 10-й Всерос. мультиконф. МКПУ-2017: В 3 т. Т. 1. Ростов-на-Дону, 2017. С. 129—133.

Zheltov S.Yu., Fedunov B.E. On-board intelligence systems to tactical levels: the decision of tasks of operational objectives on Board of anthropocentric object // Proc. of 10th Russian Conference. ICPU-2017: In 3 v. V. 1. Rostov-on-Don, 2017. P. 129–133.

26. Кадыргулов Р.А., Потапов Н.С. Системы улучшенной визуализации // Научное сообщество студентов: Междисциплинарные исследования: Сб. ст. по мат. XII Междунар. студенческой науч.-практ. конф. № 6 (41). [Электронный ресурс]. URL: https://sibac.info/archive/meghdis/6(41).pdf. (Дата обращения: 20.02.2019).

Kadyrgulov R.A., Potapov N.S. Systems of improved visualization // Scientific community of students: Interdisciplinary research: XII International Science Conf. № 6 (41). [Electronic resource]. URL: https://sibac.info/archive/meghdis/6(41).pdf. (Application date: 20.02.2019).

27. Желтов С.Ю., Выголов О.В., Визильтер Ю.В. Авиационные системы улучшенного и синтезированного видения закабинного пространства // Полет. 2013. № 1. С. 33—39.

Zheltov S.Yu., Vygolov O.V. Vizilter Yu.V. The Aviation system, enhanced and synthetic vision outside of space // Polet. 2013. \mathbb{N}^{0} 1. P. 33–39.

28. *Грановская Р.М.* Элементы практической психологии // Основные характеристики восприятия. 2-е изд. – Л., 1988. С. 20–24.

Granovskaya R.M. Elements of practical psychology // Basic characteristics of perception. 2nd ed. Leningrad, 1988. P. 20–24.

29. *Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф., Пономаренко В.А.* Образ в системе психической регуляции деятельности. М., 1986.

Zavalova N.D., Lomov B.F., Ponomarenko V.A. Image in the system of mental regulation of activity. Moscow, 1986.

30. Сыркин Л.Д., Усов В.М., Крючков Б.И., Ворона А.А. Эргономические аспекты синтеза систем отображения внешней обстановки оператору при дистанционном управлении автономными мобильными роботами // Кибернетика и программирование. 2016. № 3. С. 76—92. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.3.18804. [Электронный ресурс]. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_18804.html (Дата обращения: 20.02.2019).

Syrkin L.D., Usov V.M., Kryuchkov B.I., Vorona A.A. Ergonomic aspects of synthesis of systems of display of the external environment to the operator using the remote control Autonomous mobile robots // Kibernetika i programmirovanie. 2016. № 3. P. 76–92. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.3.18804. [Electronic resource]. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_18804.html. (Application date: 20.02.2019).

31. Давыдов В.В., Иванов А.И., Лапа В.В. и др. Проблема использования электронных пилотажных дисплеев в системе отображения информации вертолетов // Сб. МАЧАК. 2007. № 3 (26). С. 40–50.

Davydov V.V., Ivanov A.I., Lapa V.V. et al. The problem of the use of electronic flight displays in the system display information helicopters // Sbornik MACHAK. 2007. № 3 (26). P. 40–50.

32. Копорский Н.С., Видин Б.В., Жаринов И.О. Бортовые средства отображения информации современных пилотируемых летательных аппаратов // Современные технологии / С.А. Козлов, В.Л. Ткалич, ред. СПб., 2004. С. 154—165.

Koporsky N.S., Vidin B.V., Zharinov I.O. On-board means of information display of modern manned aircraft // Modern technology / S.A. Kozlov, V.L. Tkalich, eds. St. Petersburg, 2004. P. 154–165.

33. Маркелов В.В., Костишин М.О., Жаринов И.О. и др. Принципы индикации маршрутных траекторий полета летательного аппарата на экране бортовых средств отображения информации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 1 (101). С. 96–107.

Markelov V.V., Kostishin M.O., Zharinov I.O. et al. The Principles of indication of route flight trajectories of the aircraft on the screen of on-board information display facilities // Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. 2016. Vol. 16. № 1 (101). P. 96–107.

34. *Дмитриева М.А., Крылов А.А., Нафтельев А.И.* Психология труда и инженерная психология. Л., 1979.

Dmitrieva M.A., Krylov A.A., Nafteliyev A.I. Psychology of labor and engineering psychology. Leningrad, 1979.

35. *Корнилов Ю.К., Владимиров И.Ю., Коровкин С.Ю.* Современные теории мышления: Учеб. пос. Ярославль, 2011

Kornilov Yu.K., Vladimirov I.Yu., Korovkin S.Yu. The modern theories of thinking: Textbook. Yaroslavl, 2011.

36. Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Система «GLView» визуализации для моделирующих комплексов и систем виртуальной реальности // Вестник РАЕН. 2011. Т. 11. № 2. С. 20—28.

Mihaylyuk M.V., Torgashev M.A. The visualization system «GLView» for modeling complexes and systems of virtual reality // Vestnik RAEN. 2011. V. 11. № 2. P. 20–28.

37. *Ермолов И.Л., Никитин В.Н., Собольников С.А.* Интерактивный тренажер для операторов мобильных роботов с элементами актуальной адаптации // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 9. С. 45–51.

Ermolov I.L., Nikitin V.N., Sobolnikov S.A. The Interactive simulator for mobile robot operators with elements of actual adaptation // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2010. № 9. P. 45–51.

38. Uhlig Th., Roshani Fr.-C., Amodio C. et al. ISS emergency scenarios and a virtual training simulator for Flight Controllers // Acta Astronaut. 2016. № 128. P. 513–520. DOI: 10.1016/j.actaastro.2016.08.001.

39. Онуфриенко Ю.И., Алтунин А.А., Долгов П.П. и др. Направления применения компьютерного моделирования при подготовке космонавтов к ВКД // Пилотируемые полеты в космос: Матер. XII Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 219–221.

Onufrienko Yu.I., Altunin A.A., Dolgov P.P. et al. The areas of application of the computer simulation in the training of cosmonauts to EVA // Manned space missions: Proc. of the XII International scientific-practical conference. 2017. P. 219–221.

40. Юсупов Р.М., Крючков Б.И., Карпов А.А. и др. Возможности применения многомодальных интерфейсов на пилотируемом космическом комплексе для поддержания коммуникации космонавтов с мобильным роботом-помощником экипажа // Пилотируемые полеты в космос. 2013. Вып. 3. С. 23–34.

Yusupov R.M., Kryuchkov B.I., Karpov A.A. et al. The possibility of using multimodal interfaces on a manned space complex to maintain communication between astronauts and a mobile robot – crew assistant // Pilotiruemye polety v kosmos. 2013. Is. 3. P. 23–34.

Поступила 01.08.2019

RESULTS OF SPACE EXPERIMENT PILOT-T SIMULATING THE HUMAN-ROBOT INTERACTIONS ON THE LUNAR SURFACE

Bubeev Yu.A.¹, Usov V.M.^{1, 2}, Sergeev S.F.², Kriuchkov B.I.³, Mikhailiuk M.V.⁴, Johannes B.⁵

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

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

³Yu.A. Gagarin research & test cosmonaut training center, Moscow region

⁴Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences, Moscow

⁵German Aerospace Center (DLR), Institute of Aerospace Medicine, Cologne, Germany

The article discusses the possibility of using existing psycho-diagnostic stands as prototypes for the development of computer modeling stands (CMS). Presented as a prototype, on-board simulator «Pilot-T», designed for space experiments on orbital stations. CMS are necessary for modern ergonomic projects in the field of extreme robotics and the study of the psycho-physiological capabilities of a human operator in his interaction with robots in extreme conditions. The article deals with modeling of interaction between cosmonauts and autonomous mobile robots on the surface of the moon.

Key words: human-robot interaction, lunar rover, group of autonomous mobile robots, computer modeling stand (CMS), virtual reality (VR).

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. № 7. P. 65–75.

УДК 693.3

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ СТАТОЭРГОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОБЫ С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСИМОСТИ ПИЛОТАЖНЫХ ПЕРЕГРУЗОК У ЛЕТНОГО СОСТАВА ВЫСОКОМАНЕВРЕННЫХ САМОЛЕТОВ

Хоменко М.Н.¹, Вартбаронов Р.А.¹, Вовкодав В.С.², Чурилов Ю.К.^{1, 2}, Бондарева С.В.³

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

²Главный центр военно-врачебной экспертизы Минобороны России, Москва

³Филиал № 1 (7 ЦВКАГ) «Главный клинический военный госпиталь им. акад. Н.Н. Бурденко» Минобороны России, Москва

E-mail: vartbaro@yandex.ru

Исследована и описана стандартная статоэргометрическая проба (СЭП) как методика ступенчато-нарастающих усилий мышц ног (УМН) в диапазоне от 120 до 280 кГс в течение 30 с удержанием каждого УМН для прогноза индивидуальной переносимости пилотажных перегрузок +Gz (ИПП) у летного состава высокоманевренных самолетов (ВМС). Установлена гиперболическая зависимость статической работоспособности этих мышц от величины предельно переносимой перегрузки (ППЦ) на центрифуге без использования противоперегрузочного костюма (ППК) с коэффициентом корреляции 0,89 (р < 0,001). При максимальной статической физической нагрузке на статоэргометре, равной 280 кГс, и действии ППЦ, с использованием ППК-3 величиной +9 Gz сердце работает в более неблагоприятных условиях высокого общего периферического сосудистого сопротивления (ОПСС), отсутствия изменений минутного кровотока (МОК) и нагрузки давлением. Для велоэргометрической (т.е. динамической) нагрузки (ВЭН) оказалось характерным низкое ОПСС, выраженное повышение МОК и нагрузка объемом. У летного состава ВМС выявлена линейная корреляционная зависимость между максимально достигнутой в полете перегрузки (МДП) и оценкой переносимости СЭП при коэффициенте линейной корреляции, равном 0,68 (р < 0,001), при уровне практической диагностической информативности (ПДИ), равной 90 ± 6,7 %. Сравнительный анализ среднегрупповых данных МДП и оценок переносимости СЭП в 3 различных гарнизонах в процессе освоения ВМС показал определенный параллелизм между МДП и оценкой СЭП. Проведенные исследования позволяют считать стандартную статоэргометрическую пробу пригодной для косвенного прогноза ИПП у лиц летного состава ВМС.

Ключевые слова: статоэргометрическая проба, пилотажная перегрузка, предельно переносимая перегрузка на центрифуге, диагностическая информативность, статоэргометр, предельно достигнутая в полете перегрузка, индивидуально переносимая пилотажная перегрузка.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53. № 7. С. 76–83.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-76-83

Развитие новой авиационной техники в настоящее время привело к созданию и эксплуатации высокоманевренных самолетов (ВМС) 4-го поколения, обладающих принципиально новыми эксплуатационными и тактико-техническими характеристиками [1, 2]. В отличие от самолетов-истребителей 3-го поколения, современные самолеты нового поколения имеют повышенную маневренность, что существенно усиливает их боевые возможности и одновременно предъявляет повышенные требования к психофизиологическому состоянию и уровню профессиональной деятельности военного летчика [1–3]. Наряду с усложнением летной деятельности на этих воздушных судах значительно усиливается воздействие на летчика динамических факторов авиационного полета. Это связано с тем, что полеты на сложный пилотаж и воздушный бой могут сопровождаться воздействием на организм летчика больших по величине (до 9-10 ед.), продолжительности (до 30 с и более) и скорости нарастания (до 5–7 eд./c) пилотажных перегрузок [1, 3–6]. B данных условиях требования к состоянию здоровья, функциональной устойчивости и уровню профессиональной и физической подготовленности летчика значительно повышаются.

Эксплуатация ВМС показала, что воздействие больших, длительных и быстро нарастающих перегрузок (БДП) может не только снижать работоспособность летчика, но и приводить к кратковременной ее полной потере, вследствие возникновения обморочного состояния и нарушения пространственной ориентировки [1–4, 7]. В этой связи важное значение имеет разработка косвенных методов оценки устойчивости летчиков ВМС к пилотажным

перегрузкам для целей динамического медицинского наблюдения, а также оценки эффективности специальной психофизиологической подготовки и послеполетной реабилитации этих летчиков.

Следует особо отметить, что в условиях маневренного и особенно высокоманевренного полета при воздействии больших и длительных перегрузок летчик часто применяет произвольное статическое напряжение мышц брюшного пресса и ног в целях повышения устойчивости к этому фактору [1-4, 7-9]. При этом выявлена высокая эффективность мышечной защиты, достигающая в среднем +2,0 ... +4,0 ед. [1, 4, 7, 9]. Таким образом, способность удерживать длительное статическое напряжение мышц нижней половины тела является профессионально значимым физическим качеством летчика ВМС, требующим специальной физической подготовки, особенно применительно к воздействию БДП, моделируемых на специальных стендах [3, 5, 7-10].

И наконец, важное значение имеет высокая вероятность возникновения неблагоприятных кумулятивных эффектов при повторных полетах, главным образом от воздействия БДП, что потребует врачебного контроля за эффективностью послеполетной реабилитации [3, 4, 6, 8, 11].

Основной целью данной работы явилось научное обоснование использования методики стандартной статоэргометрической пробы (СЭП) в целях прогнозирования переносимости пилотажных перегрузок у летного состава ВМС военной авиации.

С этой целью необходимо было решить следующие задачи:

- 1. Описать стандартную методику проведения статоэргометрической нагрузочной пробы в качестве основы для косвенной прогностической оценки индивидуальной переносимости пилотажных перегрузок у летного состава ВМС.
- 2. Провести сравнительный экспериментальный анализ взаимосвязи статической работоспособности мышц и предельной переносимой перегрузки на центрифуге при отсутствии средств пассивной противоперегрузочной защиты.
- 3. Проанализировать в сравнительном плане экспериментально-статистические аспекты физиологических механизмов реакций центральной гемодинамики на воздействие велоэргометрической нагрузки, СЭП и предельно переносимой перегрузки.
- 4. Оценить информативность косвенной оценки СЭП для количественного прогноза индивидуального уровня предельной переносимости пилотажных перегрузок летчиками в высокоманевренном полете.
- 5. Определить диагностическую информативность СЭП при систематическом выполнении маневренных и высокоманевренных полетов летным составом с различной предельной групповой

переносимостью пилотажных перегрузок в 3 авиационных гарнизонах.

В полном соответствии с этими задачами было проведено 5 серий исследований.

Методика

В данной работе в 1-й серии исследований изучалась оригинальная СЭП, запатентованная группой соавторов: М.Н. Хоменко, Р.А. Вартбароновым и С.Д. Мигачевым, под руководством Г.П. Ступакова в 1999 г. [6, 12]. Эта функциональная нагрузочная проба в настоящее время получила широкое применение в практике врачебно-летной экспертизы (ВЛЭ) [1—4, 7]. В литературе имеются отдельные работы [8, 9 и др.], в которых допущена методическая погрешность, связанная с отсутствием стандартного напряжения мышц ног (усилия 120 кГс) при создании установочного угла 120° в коленных суставах перед началом проведения СЭП.

В этой связи с целью уточнения данной методики на основе обобщения накопленного опыта приведено описание стандартной СЭП, которая выполняется в соответствии с существующими нормативными документами [1–4, 7, 12] на физическом тренажере для создания ступенчато-нарастающих статических мышечных усилий типа «Статоэргометр» [6, 12]. Этот стенд состоит из кресла на металлическом основании со штатной привязной системой, подножек-педалей и указателя, измеряющего статические мышечные усилия (рис. 1).

Стенд имитирует позу летчика в самолете и давление ног на педали в целях создания защитного статического напряжения мышц нижней половины



Рис. 1. Общий вид статоэргометра конструкции М.Н. Хоменко и С.Д. Мигачева [6]

тела. На статоэргометре предусмотрена возможность регулировки положения подножек-педалей в зависимости от длины ног обследуемого в целях создания стандартного установочного угла сгибания в коленных суставах. Система измерения силы давления ног на педали с помощью гидравлического или тензометрического способа (с точностью 2–3 кГс) дает обследуемому и врачу информацию о развиваемом двумя ногами мышечном усилии в килограмм-силах (кГс).

После наложения датчиков для записи ЭКГ в 3 отведениях по Нэбу и аппарата для измерения артериального давления обследуемый с помощью врача фиксирует себя в кресле штатной привязной системой. Перед началом пробы с помощью угломера в системе передвижения педалей устанавливают угол в коленных суставах, равный 120°, при положении на педалях средней части стопы. Очень важно, чтобы установка угла, которая проводится с помощью угломера до начала пробы, осуществлялась при кратковременном одновременном создании мышечных усилий нижних конечностей величиной 120 кГс [1, 3, 8, 12]. Проведенный нами теоретический анализ показал, что несоблюдение этого условия закономерно приводит к существенному увеличению установочного угла в процессе проведения пробы, что завышает балльную оценку этой пробы примерно на 1 балл.

После 5-минутного пребывания в состоянии покоя и измерения фоновых физиологических данных по команде врача обследуемый создает ступенчато возрастающее усилие ног величиной 120, 160, 200, 240 и 280 кГс с удержанием каждого усилия в течение 30 с. Проба выполняется до указанного уровня или прекращается ввиду отказа обследуемого продолжать работу в связи с мышечным утомлением или при появлении других субъективных или объективных признаков, являющихся показаниями для прекращения пробы при определении толерантности к физической нагрузке [1, 4, 8, 9, 12]. В процессе выполнения пробы и по ее завершении на 1, 3 и 5-й минутах регистрируют ЭКГ в 3 стандартных отведениях по Нэбу и измеряют АД по Короткову.

Для проведения врачебно-летной экспертизы летчиков ВМС разработана методика СЭП с 4-балльной оценкой ее переносимости: отличной, хорошей, удовлетворительной и пониженной, — различающиеся по степени выполнения полной программы исследований: отличная — при достижении 280 кГс в течение 30 с, хорошая — не менее 240 кГс — 15 с, удовлетворительная — не менее 200 кГс — 30 с и пониженная — менее 160 кГс в течение 30 с [1, 3, 7—9, 11, 12].

Статистическая обработка проводилась с использованием вариационного анализа, в том числе методом средней разности, анализа бинарных данных, методов регрессионного и корреляционного анализа и последующим определением вероятности достоверности различий, а также уровней значимости альтернативной гипотезы [13].

Во 2-й серии с участием 25 испытателей-добровольцев мужского пола с различной предельно переносимой перегрузкой (ППЦ) в возрасте 19–22 лет были проведены исследования на центрифуге без противоперегрузочного костюма (ППК), но с адекватным мышечным напряжением при воздействии ступенчато-нарастающей перегрузки величиной от 3 до 8 ед. со скоростью нарастания 0,4 ед./с и площадками по 30 с по методике П.М. Суворова [8]. У каждого из испытателей также определяли статическую работоспособность с помощью СЭП. Для целей статистической обработки использовали анализ гиперболической зависимости, а также линейный регрессионный анализ.

В 3-й серии исследований приняли участие 25 высокоустойчивых, с постоянным уровнем переносимости перегрузки на центрифуге величиной 9 ед. в течение 30 с испытателей-добровольцев мужского пола в возрасте 19–23 лет. Помимо ППЦ, они также проходили стандартную велоэргометрическую нагрузку субмаксимальной мощности, а также СЭП с отличной оценкой ее переносимости. Предельно переносимая перегрузка соответствовала требованиям средних параметров БДП и, кроме указанных величины и длительности, имела скорость нарастания 1 ед./с в условиях использования штатного противоперегрузочного костюма типа ППК-3 с автоматом давления АД-5 в режиме МАК [1, 2]. Первичные показатели реакций центральной гемодинамики были изучены методом средней разности с помощью вариационного анализа.

В 4-й серии исследований приняли участие 55 летчиков истребительного авиационного полка с различными уровнями профессиональной подготовки к выполнению маневренных и высокоманевренных полетов на самолетах типа МиГ-29. Возраст летчиков составил 29,4 ± 0,5 года и колебался в пределах от 22 до 40 лет. Для определения информативности оценки СЭП в качестве предиктора переносимости пилотажных перегрузок в полете при выполнении летных упражнений на сложный пилотаж и воздушный бой в течение 3 месяцев с акселерометра снимали показатели максимальной ПП, а затем выбирали ее максимальную величину с точностью ±0,5 ед. Максимально достигнутая пилотажная перегрузка +Gz (ППЦ) определялась по данным регистрации акселерограмм у каждого летчика. В этот же 3-месячный период проводили СЭП на Земле по 4-балльной оценке: от отличной до пониженной. Порядок проведения СЭП по времени у разных летчиков был случайным, что позволяло исключить фактор тренированности к действию ПП.

В 5-й серии исследований были выбраны 3 авиационных гарнизона, в которых впервые проводилось

Таблица

Сопоставление средних величин и частот распределения предельно достигнутой пилотажной перегрузки и оценок переносимости СЭП в 3 различных авиационных гарнизонах

Показатели	1-й гарнизон	2-й гарнизон	3-й гарнизон
1. Возраст, лет	30,1 ± 0,71	28,4 ± 0,74	28,6 ± 0,72
2. Общий налет, ч/год	121 ± 11	153 ± 12*	149 ± 10*
3. Число полетов на СП и ВБ за последний год	54 ± 7	49 ± 6	57 ± 10
4. Предельно переносимая +Ny в полете, отн. ед.	7,55 ± 0,17	7,80 ± 0,18	8,24 ± 0,10*
5. Относительное число летчиков, эпизодически летающих c +Ny >7,0, в $\%$	27,3 ± 9,7	66,7 ± 7,5**	74,5 ± 5,2**
6. Относительное число летчиков, эпизодически летающих с +Ny >8,0, в $\%$	5,3 ± 5,3	33,3 ± 7,5**	42,5 ± 7,8**
7. Средняя оценка СЭП, балл	3,41 ± 0,07	3,92 ± 0,11**	4,41 ± 0,08***###
8. Относительное число летчиков с удовлетворительной оценкой переносимости СЭП, в %	72,7 ± 9,7	23,1 ± 6,7***	17,5 ± 6,0****
9. Число обследованных летчиков	22	39	40

Примечание. * – достоверность отличий от летчиков 1-го гарнизона при p < 0.05; ** – при p < 0.01; *** – при p < 0.001; от летчиков 2-го гарнизона: ### – при p < 0.001.

освоение БДП у отобранной группы летчиков ВМС. В 1-м гарнизоне уделялось недостаточное внимание методам специальной подготовки летчиков к воздействию больших и длительных ПП. Во 2-м и особенно 3-м гарнизонах комплекс мероприятий по наземной психофизиологической подготовке и пилотажной подготовке приближался к оптимальным требованиям. Средний возраст составлял соответственно у 22 летчиков 1-го гарнизона 30,1 года, у 39 летчиков 2-го гарнизона 28,4 года и у 40 летчиков 3-го гарнизона 28,6 года без достоверной разницы по средней ошибке (таблица).

Статистическая обработка в 4-й и 5-й сериях проводилась с использованием вариационного анализа, анализа бинарных данных, методов корреляционного и регрессионного анализа, что позволило получать репрезентативные выборки применительно к реальным условиям высокоманевренного полета.

Результаты и обсуждение

Во 2-й серии исследований изучалась взаимосвязь максимальной статической работоспособности мышц (СМР) и ППЦ. В результате проведенных исследований установлена гиперболическая зависимость между СМР и ППЦ с достаточно высоким коэффициентом нелинейной корреляции, достигающим 0,89. Эти данные представлены на рис. 2. Обращает на себя внимание и достаточно высокая достоверность полученного коэффициента корреляции при

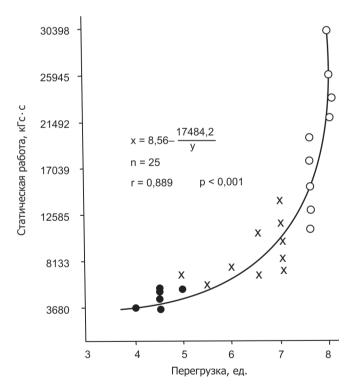


Рис. 2. Результаты корреляционного анализа взаимосвязи максимальной статической работоспособности мышц ног (по оси у) и предельно переносимой перегрузки на центрифуге без ППК (по оси х). Средняя ошибка регрессии составила $\pm 1,0$ ед.; • — пониженная переносимость; х — удовлетворительная переносимость; о — высокая переносимость +Gz

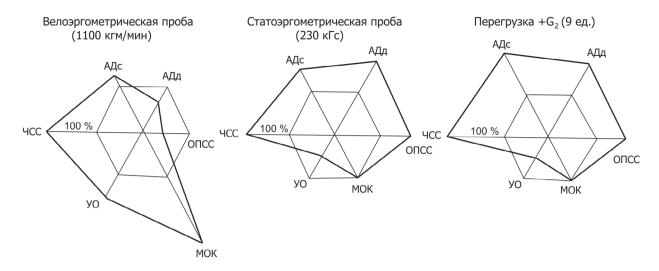


Рис. 3. Сравнительные типологические групповые портретные характеристики реакций центральной гемодинамики при велоэргометрической, статоэргометрической пробах и воздействии предельно переносимой перегрузки на центрифуге с использованием ППК

значимости при р < 0,001. Существенным моментом воздействия перегрузки в нашем исследовании являлось отсутствие ППК, как правило, используемого летчиками в полете при пилотировании летательного аппарата. По переносимости +Gz все испытатели были отнесены в одну из 3 групп: пониженной (24,0+8,6%), удовлетворительной (40,0+10,0%) и высокой (36,0+9,8%). Поскольку достоверные межгрупповые различия отсутствовали, то эти группы можно считать равновзвешенными.

В 3-й серии исследований установлено характерное для динамической нагрузки при ВЭН выраженное (в 2,5 раза) увеличение минутного объема кровотока (МОК), сопровождающееся относительным увеличением ударного объема сердца (УОС) и падением в 1,7 раза общего периферического сосудистого сопротивления (ОПСС). Минимальное (АДмин) и среднединамическое (АДср) артериальное давление в среднем не изменялись, а боковое (АДб) и систолическое (АДмакс) возрастали в среднем на 25-30 %. Существенное увеличение МОК могло быть обусловлено не только работой сердца, но и включением «периферического сердца» – мышечного насоса, интенсивно перекачивающего венозную кровь в направлении сердца [1, 2]. В противоположность этому при статической мышечной нагрузке СЭП в процессе ступенчато-нарастающих усилий мышц нижней половины тела летчика вследствие длительного сокращения скелетных мышц не только прекращается работа мышечного насоса, но и резко снижается регионарный мышечный кровоток в них, вплоть до полного его исчезновения. Это приводит к резкому (более чем в 1,5 раза) повышению ОПСС и, следовательно, к резкому затруднению работы сердца. При этом УОС падает более чем в 2 раза и сохранение МОК на исходном уровне компенсируется только тахикардией и поддержанием высокого уровня ОПСС [1, 2].

Сердце при динамической мышечной нагрузке работает в условиях низкого ОПСС, нагрузки объемом и повышенного МОК, а при статической физической нагрузке – в менее благоприятных условиях высокого ОПСС, нагрузки давлением и отсутствием существенных изменений МОК.

Полученные в 3-й серии относительные результаты были дополнительно обработаны с помощью графического представления в виде портретных типологических характеристик сокращенного числа показателей центральной гемодинамики. Эти результаты представлены на рис. 3.

Как видно из рисунка, типологические портретные характеристики центральной гемодинамики при максимальной статической нагрузке и при воздействии перегрузки на центрифуге почти полностью совпадают. При этом они резко отличаются от велоэргометрической, т.е. динамической физической нагрузки, полученной у этих же 20 испытуемых молодого возраста. Проведенные исследования свидетельствуют о близости (но не идентичности) патофизиологических механизмов адаптации при создании статических мышечных усилий в позелетчика на статоэргометре и воздействии предельно переносимых перегрузок в направлении голова — таз, встречающихся на современных ВМС.

Результаты исследований, проведенных в 4-й серии, посвященной изучению информативности балльной оценки СЭП для прогноза переносимости ПП в реальном полете, представлены на рис. 4, А и Б. Как видно из рисунка, существует почти линейная прямая и обратная групповые зависимости между средней величиной максимально достигнутой ПП и средней оценкой переносимости СЭП.

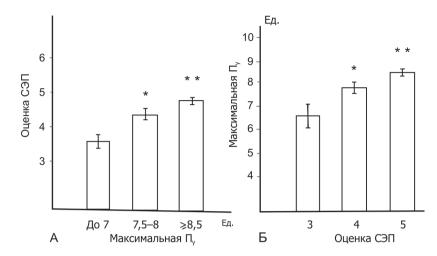


Рис. 4. Информативность результатов 3-балльной оценки СЭП для прогноза переносимости летчиком пилотажных перегрузок. А – зависимость оценки СЭП от максимально достигнутой в полете +Gz; Б – зависимость максимально достигнутой в полете +Gz от балльной оценки СЭП: 3 – удовлетворительная оценка; 4 – хорошая оценка; 5 – отличная оценка. Лиц с пониженной оценкой не выявлено. * – достоверность отличий при р < 0.01:* – между 1-й и 2-й группами; ** – между

Дополнительный корреляционный анализ попарно связанных величин этих показателей обнаружил достаточно тесную корреляционную зависимость между ними при r = 0,68 с достоверностью корреляции при р < 0,001. Регрессионная линейная зависимость определялась уравнением Y = 0.78x + 4.37с ошибкой $S = \pm 1,05$. Средняя диагностическая информативность (СДИ) по методу Генеса [13] составила по уровню совпадений 75 ± 5,8 % при величине гипердиагностической ошибки 15 %, а гиподиагностической – 10 %. Поскольку эти данные получены при 3-альтернативном варьировании, то случайное распределение должно составить $33,3 \pm 6,4$ %. Вероятность альтернативной гипотезы приемлема при уровне высокой значимости альтернативной ошибки при р < 0,00001. Однако нами введено новое понятие о практической диагностической информативности, суммирующее СДИ и гипердиагностическую ошибку, т.е. хорошую и отличную оценки СЭП, что позволяет довести ее уровень до 90.0 ± 6.7 %.

2-й и 3-й группами летчиков

В 5-й серии исследований весьма показательным оказалось сопоставление информативности СЭП в интересах динамического врачебного контроля за летным составом с различной переносимостью ПП при систематическом выполнении полетов с воздействием пилотажных перегрузок высокоманевренного полета в 3 авиационных гарнизонах. Эти данные представлены в таблице, из которой видно, что у летчиков 1-го гарнизона, в котором специальная подготовка с целью повышения устойчивости

к БДП оказалась недостаточной, отмечались пониженные уровни переносимости ПП и оценки переносимости СЭП. В 3-м гарнизоне уровни переносимости ПП и оценки статической выносливости были наивысшими. Во 2-м и особенно в 3-м гарнизонах, требования к специальной подготовке летного состава к действию БДП были близки к оптимальным: большинство летчиков имели хорошие показатели ИПП и СЭП. Не было выявлено достоверных межгрупповых различий по среднему возрасту и пилотажной подготовке (числу полетов на СП и ВБ), положительному влиянию других элементов специальной психофизиологической подготовки по критериям стабилизирующего типа (увеличение общего налета, % летчиков, летающих с БДП и имеющих хорошую переносимость СЭП) и критериям прогрессирующего типа (увеличение средней оценки СЭП на 1 балл и средней максимально достигнутой перегрузки на 0,7 ед.).

Групповые данные сопоставления переносимости предельно переносимой ПП и балльной оценкой переносимости СЭП, а также летной нагрузки, которые представлены в таблице, за исключением среднего возраста и пилотажной подготовки, характеризовались определенным параллелизмом изменений в положительную сторону.

Полученные общие результаты позволяют уточнить и апробировать высокую информативность СЭП для прогноза переносимости больших, длительных и быстро нарастающих ПП самолетов 4-го поколения. Это оказалось возможным в связи:

- с высокой корреляцией между уровнями статической работоспособности мышц и предельной переносимости перегрузок на центрифуге без ППК;
- с близостью групповых портретных характеристик реакций центральной гемодинамики на предельно достижимые уровни переносимости СЭП и предельно переносимых перегрузок на центрифуге при использовании ППК;
- с высокой практической диагностической информативностью величиной 90 % стандартной СЭП для косвенного прогноза индивидуальной переносимости БДП у лиц летного состава с различной переносимостью этих перегрузок;
- с установлением определенного параллелизма в групповой переносимости ПП и оценок СЭП в 3 различных гарнизонах между предельно достигнутой в полете ПП и оценкой переносимости СЭП.

В заключение следует подчеркнуть, что в настоящее время возможности СЭП в целях совершенствования динамического врачебного наблюдения,

специальной психофизиологической подготовки и послеполетной реабилитации летного состава высокоманевренной авиации использованы далеко не в полной мере. Доступность, дешевизна, безопасность и простота проведения СЭП в сочетании с высокой диагностической информативностью позволяют рекомендовать ее использование на всех этапах ВЛЭ для косвенной оценки сниженной переносимости БДП в условиях реального полета в целях динамического врачебного контроля, а также оценки эффективности специальной подготовки и послеполетной реабилитации летного состава ВМС.

Выводы

- 1. Впервые в проведенных исследованиях описана стандартная функциональная нагрузочная статоэргометрическая проба в виде ступенчато-нарастающих усилий мышц ног и брюшного пресса в диапазоне от 120 до 280 кГс с шагом квантования 40 кГс и длительностью 30 с каждая, предназначенная для косвенной прогностической оценки индивидуальной переносимости пилотажных перегрузок у летчиков высокоманевренных самолетов.
- 2. Установлена гиперболическая зависимость между статической работоспособностью мышц ног и предельной ступенчато-нарастающей перегрузкой на центрифуге 8 ед. длительностью по 15 с шагом квантования 0,5 ед. без использования ППК с коэффициентом нелинейной корреляции, равного 0,89 при р < 0,001.
- 3. Выявлено, что при статической физической нагрузке на статоэргометре от 120 до 280 кГс с шагом квантования 40 кГс длительностью по 30 с каждая и предельно переносимой перегрузки на центрифуге 9 ед. 30 с ППК сердце работает в более неблагоприятных условиях высокого общего периферического сосудистого сопротивления, нагрузки давлением при отсутствии изменений минутного кровотока по сравнению с велоэргометрической нагрузкой, характеризующейся нагрузкой объемом, низким общим периферическим сосудистым сопротивлением и повышением минутного кровотока.
- 4. У летного состава высокоманевренных самолетов установлена тесная корреляционная зависимость между индивидуальными значениями предельно достигнутой в полете величиной +Gz и оценкой переносимости СЭП при коэффициенте линейной корреляции, равном 0,68 при р < 001. Установлена также и линейная зависимость этих показателей по уравнению регрессии: Y = 0.78x + 4.37 со средней ошибкой $S = \pm 1.05$ ед. и уровнем практической диагностической информативности, равной 90.0 ± 6.7 %.
- 5. В процессе освоения полетов на ВМС установлен определенный параллелизм групповой переносимости ПП и оценок СЭП в 3 различных гарнизонах

между предельно достигнутой в полете ПП и оценкой переносимости СЭП. Это позволяет использовать ее для целей динамического врачебного наблюдения, оценки эффективности специальной подготовки и персонифицированной послеполетной реабилитации летного состава ВМС.

Список литературы

1. Динамический врачебной контроль, подготовка к выполнению полетов, особенности врачебно-летной экспертизы и реабилитации летчиков высокоманевренных самолетов: дополнение к методикам ВЛЭ / С.А. Бугров, П.Л. Слепенков, ред. М., 1991. С. 45–56.

Dynamic medical control, flight preparation, features of medical-flight examination and rehabilitation of pilots of highly maneuverable aircraft: addition to the methods of medical-flight examination / S.A. Bugrov, P.L. Slepenkov, eds. Moscow, 1991. P. 45–56.

2. Методики исследований в целях врачебно-летной экспертизы: Пос. для членов ВЛК / Е.С. Бережнов, П.Л. Слепенков, ред. М., 1995. С. 195–215.

Research methods in order to medical-flight examination: Guide for members of the medical-flight committees / E.S. Berezhnov, P.L. Slepenkov, eds. Moscow, 1995. P. 195–215.

3. Человек в измерениях XX века: прогресс человечества в двадцатом столетии. М.; Кировоград, 2002. Т. 4. С. 124–159.

Man in the dimensions of the XX century: human progress in the twentieth century. Moscow; Kirovograd. 2002. V. 4. P. 124-159.

4. Психофизиологические возможности летчика: Справ. пос. для командира / В.А. Пономаренко, В.В. Лапа, А.Г. Федорук, ред. М., 1994. С. 29–33.

Psychophysiological possibility of a pilot: Handbook for the commander / V.A. Ponomarenko, V.V. Lapa, A.G. Fedoruk, eds. Moscow, 1994. P. 29–33.

5. Психофизиологическая надежность летчика: Науч.темат. сборник / Г.П. Ступаков, ред. М., 1993. С. 84–88.

Psychophysiological reliability of the pilot: Scientific-thematic collection / G.P. Stupakov, ed. Moscow, 1993. P. 84–88.

6. *Хоменко М.Н., Мигачев С.Д*. Устройство для тренировки мышц. Роспатент № 2097835 от 15.02.94 г., по заявке № 94005699.

Khomenko M.N., Migachev S.D. Device for muscle training. Russian patent N° 2097835 from 15.02.94, at the request of N° 94005699.

7. Уточненные методики обследования летного состава в целях врачебно-летной экспертизы: Пос. для спец. АГ, отделений ВЭЛС ОВГ и ЛАМов. М., 1988. С. 3-10.

Updated methods of examination of flight personnel for the purpose of medical and flight examination: Manual for specialists of aviation hospitals, medical examination departments of the flight personnel of district military hospitals and aviation medicine laboratories. Moscow, 1988. P. 3–10.

Москва

8. *Суворов П.М., Карлов В.Н., Сидорова К.А.* Специальная функциональная диагностика во врачебно-летной экспертизе. М., 1996. С. 118–149.

Suvorov P.M., Karlov V.N., Sidorova K.A. Special functional diagnostics in the medical-flight examination. Moscow, 1996. P. 118–149.

9. Суворов П.М., Карлов В.Н., Сидорова К.А. Прогнозирование устойчивости к пилотажным перегрузкам (+Gz) с помощью различных функциональных нагрузочных проб // Современные методы профессиональной и медицинской реабилитации летного состава и лиц, работающих в особых условиях деятельности / В.Н. Ситник, ред. М., 1995. С. 131–132.

Suvorov P.M., Karlov V.N., Sidorova K.A. Prediction of resistance to flight forces (+Gz) with different functional stress tests // Modern methods of professional and medical rehabilitation of flying personnel and persons working in special conditions / V.N. Sitnic, ed. Moscow, 1995. P. 131–132.

10. Руководство по медицинскому обеспечению полетов авиации Вооруженных сил СССР: Приказ ГК ВВС № 99 от 12.04.91 г. М., 1991.

Guide for health maintenance of aircraft flights of Armed Forces of the USSR: Order of the Air Force commander № 99 of 12.04.91. Moscow, 1991.

11. Хоменко М.Н., Ступаков Г.П., Мигачев С.Д. и др. Способ прогнозирования переносимости летчиками пилотажных перегрузок. Роспатент № 2129404 от 27.04.99 г., по заявке № 94006237, с приоритетом от 15.02.94 г.

Khomenko M.N., Stupakov G.P., Migachev S.D. et al. Method of predicting endurance of the pilots of flight overloads. Russian patent № 2129404 from 27.04.99, the application № 94006237, with priority from 15.02.94.

12. Физический тренажер для тренировки летчиков-истребителей типа «Статоэргометр»: паспорт, совмещенный с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации. М., 1988.

The physical simulator «Statoergometr» type to train fighter pilots: passport, combined with technical description and manual. Moscow, 1988.

13. Лакин Г.Ф. Биометрия: Учеб. пос. для студентов биол. спец. вузов. 3-е изд., доп. М., 1980.

Lakin G.F. Biometrics: Textbook for students of biological specialties. 3rd ed. Moscow, 1980.

Поступила 21.09.2018

PRESENTATION OF A STATIC ERGOMETER TEST PROCEDURE FOR PREDICTING TOLERANCE TO FLIGHT G-LOADS OF HIGHLY MANEUVARABLE AIRCRAFT PILOTS

Khomenko M.N.¹, Vartbaronov R.A.¹, Vovkodav V.S.², Churilov Yu.K.^{1, 2}, Bondareva S.V.³

¹Научно-исследовательский испытательный центр (авиационно-космической медицины и военной эргономики) ЦНИИ ВВС Минобороны России, Москва ²Главный центр военно-врачебной экспертизы Минобороны России, Москва ³Филиал № 1 (7 ЦВКАГ) «Главный клинический военный госпиталь им. акад. Н.Н. Бурденко» Минобороны России,

The standard static ergometer test (SET) was evaluated as a procedure of graded leg muscle loading (GML) in the 120 - 280 kGs range with 30 s at every grade to diagnose individual tolerance to g-loads (+Gz) of fighter pilots (FP). A hyperbolic dependence of static muscle performance on the level of maximum tolerable g-load (MTG) was determined during centrifugation without anti-g suit (AGS) with the correlation coefficient = 0.89 (p < 0.001). Maximum static physical work (280 kGs) and MTG of +9 Gz in AGS are particularly challenging conditions for the heart due to high total resistance of peripheral vessels (PVTR), unaltered cardiac output (CO) and pressure overload. The dynamic ergometer test was characterized by low PVTR, a distinct CO rise and volume overload. The pilots demonstrated a linear correlation between maximal +Gz value during flight (MFG) and SET endurance with the linear correlation coefficient = 0.68 (p < 0.001) and level of practical diagnostic informativity = 90 \pm 6.7 %. Comparative analysis of mean MFG and SET endurance of pilots in three fighter garrisons showed a certain parallelism of MFG and SET endurance. Based on the investigation, the standard static ergometer test can be used for indirect predicting individual q-tolerance by pilots.

Key words: static ergometer test, flight g-load, maximum tolerable g-value during centrifugation, diagnostic informativity, maximal +Gz value during flight, individual tolerance to flight g-values.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. № 7. P. 76–83.

УДК 616.314-02:613.644

СОСТОЯНИЕ ПОЛОСТИ РТА У ЛЕТНОГО СОСТАВА ПРИ СИСТЕМАТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ОБЩЕЙ ВИБРАЦИИ

Ковалевский А.М., Иорданишвили А.К., Гайворонский И.В., Пащенко П.С., Латиф И.И.

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

E-mail: endy_taker@mail.ru

Проведено углубленное стоматологическое обследование 404 пилотов транспортных самолетов и вертолетов, подвергающихся систематическому воздействию общей вибрации. Контрольную группу составили 864 человека других специальностей.

Определяли вибрационную чувствительность десны, электроодонтометрию (ЭОМ), миотонометрию, проводили функциональное исследование сосудов пародонта методом ультразвуковой допплерографии у 31 пилота вертолетов в возрасте от 24 до 43 лет с временем налета от 400 до 2000 ч и у 20 практически здоровых людей в возрасте 24—45 лет, не подвергающихся воздействию вибрации.

У лиц, испытывавших систематическое воздействие вибрации, распространенность пародонтоза была выше, чем в контрольной группе, на 4% (p < 0.001), пародонтита — на 32.8% (p < 0.001).

Непосредственно после полета вибрационная чувствительность снижалась до $4,4\pm0,9$ с (p<0,001), показатели ЭОМ возрастали (p<0,05), снижались средняя линейная и средняя объемная скорости кровотока в сосудах пародонта (p<0,05), изменялся тонус напряжения и покоя жевательной мышцы (p<0,05). К предполетному уровню показатели возвращались в течение 60-90 мин.

Ключевые слова: летный состав, общая вибрация, гингивит, пародонтит, пародонтоз, вибрационная чувствительность десны, линейная и объемная скорость кровотока.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53. № 7. С. 84—90.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-84-90

Общая и локальная вибрация — это воздействия из разряда профессионально вредных в ряде отраслей промышленности, таких, как горное [1] и строительное [2] дело, на транспорте [3] и др. При сочетании с воздействием низких температур [1], шума [4] и нарушением техники безопасности вибрация приводит к развитию вибрационной болезни [5].

Известно, что при вибрационной болезни развиваются нарушения сосудистой системы [6] вследствие эндотелиальной дисфункции [7].

В настоящее время в патогенезе вибрационной болезни приоритетное значение придается

сосудистым нарушениям, связанным с прямым повреждающим действием вибрации на эндотелий сосудов и развитием сложных регуляторных расстройств с одновременным или последовательным формированием нейрогормональных и рефлекторных нарушений, приводящих к изменению микроциркуляции и транскапиллярного обмена с прогрессированием тканевой гипоксии [8].

Важным патогенетическим признаком вибрационной болезни является синдром повышенной внутрисосудистой агрегации эритроцитов, выявляемый уже на начальной стадии заболевания [9], а начальные признаки остеопороза предшествуют клиническим проявлениям вибрационной патологии [10]. В то же время известно, что образование стаза форменных элементов крови в сосудах пародонта [11] и явления остеопороза [12] характерны для морфологической картины хронического генерализованного пародонтита, что свидетельствует о наличии определенной общности механизмов патогенеза этих заболеваний.

Наибольшее значение в отношении опасности развития вибрационной болезни придается вибрации с частотой от 16 до 250 Гц [5].

Известно, что специфической реакцией сосудов на вибрацию частотой до 30 Гц является спасти-ко-атоническое состояние артериол и капилляров, а при частоте более 30 Гц наблюдается спазм артериол [13].

Вибрация вертолетов отмечается при частотах 2,2—10,8 Гц с амплитудой 0,36—0,57 мм по вертикали и 0,6—6,3 мм по горизонтали [13], зафиксирована также вибрация частотой до 45 Гц с амплитудой 0,3 мм [14].

По мнению ряда авторов [15], для вертолетов характерны вибрации в диапазоне 5–20 Гц, для транспортных самолетов – в диапазоне от 60 до 160 Гц. Из всех летательных аппаратов наибольшие величины вибрации отмечаются на вертолетах. При запуске двигателя амплитуда вибрации может достигать 5–6 мм, в режиме горизонтального полета – от 2,2 до 3,5 мм. Наряду с низкочастотными могут регистрироваться и высокочастотные колебания от 50 до 198 Гц при амплитуде от 0,05 до 0,45 мм.

Вибрационная болезнь у летного состава благодаря профилактическим мерам не встречается, однако отмечены отдельные симптомы неблагоприятного воздействия на состояние и работоспособность [16].

Поскольку тело человека представляет собой сочетание различных масс с упругими элементами, имеющими собственные колебания разной частоты, при воздействии вибрации возможно явление резонанса, когда амплитуда колебаний отдельных частей или органов тела увеличивается в несколько раз по сравнению с амплитудой вибрации внешнего источника. Так, для человека в положении лежа резонансная частота составляет 3–3,5 Гц, в положении сидя – 4–6 Гц, стоя – 5–7 Гц и 17–25 Гц. Представляется важным, что явление резонанса для тканей головы наступает при частоте 20–30 Гц, в этом случае амплитуда колебаний головы может превышать амплитуду колебаний плеч в 3 раза [16].

Вопросы состояния органов и тканей полости рта при вибрационной болезни отражены в немногочисленных публикациях, содержащих противоречивые сведения и рекомендации. Так, Т.В. Никитина, Е.Н. Родина (2003) считают, что при вибрационной болезни преобладают неглубокие (до 3 мм) пародонтальные карманы с нерезко выраженным воспалением [17], в то время как К.Ф. Радгударзи, А.К. Иорданишвили (2010) отмечают у рабочих, имеющих контакт с виброуплотнительными установками, тяжелое протекание воспалительных процессов пародонта с прогрессирующей деструкцией периодонта, гноетечением из пародонтального кармана и патологической подвижностью естественных зубов [2].

В литературе отсутствуют данные о заболеваниях полости рта у пилотов транспортных самолетов и вертолетов, которые в условиях профессиональной деятельности систематически подвергаются воздействию комплекса неблагоприятных факторов полета, одним из которых является вибрационное воздействие. Недостаточно изучен вопрос о влиянии на органы и ткани полости рта «подпороговых» воздействий вибрации, которые не приводят к развитию вибрационной болезни.

Целью работы явилось изучение состояния органов и тканей полости рта при систематическом воздействии на организм общей вибрации.

Методика

Были обследованы 404 человека летного состава мужского пола в возрасте 25—45 лет, деятельность которых сопряжена с действием на организм общей вибрации (158 пилотов транспортных самолетов и 246 пилотов вертолетов). В группу сравнения вошли 864 человека нелетных специальностей мужского пола того же возраста. Обследованные

проживали в Северо-Западном регионе Российской Федерации.

Для уточнения влияния возраста на стоматологическую заболеваемость в основной и контрольной группах обследованные были разделены на подгруппы 1-го и 2-го периодов зрелого возраста в соответствии с рекомендациями VII Всесоюзной конференции по проблемам возрастной морфологии, физиологии и биохимии АПН СССР (1965) [18], предусматривающими выделение следующих возрастных групп: 17–21 год — юношеский возраст, 22–35 лет — первый период зрелого возраста, 36–60 лет — второй период зрелого возраста, 61–75 лет — пожилой возраст, свыше 75 лет — старческий возраст.

Для оценки состояния тканей пародонта указанных категорий обследованных кроме стоматологического зеркала и углового стоматологического зонда использовали специальный градуированный пародонтологический зонд. Состояние полости рта и височно-нижнечелюстного сустава оценивали на основании жалоб и данных объективного клинического обследования.

Клинико-функциональное обследование включало определение вибрационной чувствительности десны, электроодонтометрию (ЭОМ), миотонометрию и функциональное исследование сосудов микроциркуляторного русла пародонта методом ультразвуковой допплерографии. Обследован 31 пилот вертолетов Ми-8 в возрасте от 24 до 43 лет со временем налета от 400 до 2000 ч. Обследование проводили до и после выполнения летной смены, включавшей выполнение 1 полета продолжительностью 2 ч. Контрольную группу составили 20 практически здоровых людей в возрасте 24—45 лет, не подвергающихся воздействию вибрации в процессе профессиональной деятельности.

Определение порога вибрационной чувствительности десны проводилось путем хронометража промежутка восприятия вибрации после установки рукоятки активированного камертона на слизистую оболочку десны в области фронтальных зубов нижней челюсти.

ЭОМ проводили с помощью аппарата «Тестер жизнеспособности пульпы, модели Digitest, Gentlpuls» (Parkell Inc., США).

Миотонометрическое исследование включало изучение тонуса покоя и тонуса напряжения жевательной мышцы с помощью миотонометра Szirma фирмы Metrimpex (Венгрия).

Функциональное исследование сосудов микроциркуляторного русла пародонта осуществляли методом ультразвуковой допплерографии с использованием аппарата МИНИМАКС-ДОППЛЕР-К (ООО «СП-Минимакс», СПб., регистрационное удостоверение МЗ РФ № 29/03061297/0052-00 от 06.03.2000 г.). Исследованию подвергали сосуды пародонта в области боковых резцов верхней челюсти с помощью датчика частотой 20 МГц.

Оценка значимости различия средних значений и частоты проявления признаков в различных группах обследованных проводилась с помощью параметрических и непараметрических методов оценки гипотез:

- параметрический t-критерий Стьюдента;
- непараметрический критерий χ^2 Пирсона.

Распространенность стоматологических заболеваний в группах обследованных выражали в процентах, оценивали стандартную ошибку частоты $(P \pm mp)$.

Результаты и обсуждение

Результаты обследования лиц, подвергающихся систематическому воздействию общей вибрации в сравнении с пациентами контрольной группы, приведены в табл. 1.

Анализ результатов обследования свидетельствует, что распространенность кариеса зубов в обеих группах достоверно не различается (p > 0.05).

Распространенность некариозных поражений зубов среди лиц, подвергающихся систематическому воздействию вибрации, по сравнению с контрольной группой выше на 6,8 % (p < 0,01), заболеваний слизистой оболочки полости рта и языка, а также красной каймы губ — выше на 2,7 % (p < 0,05), дисфункция височно-нижнечелюстного сустава — выше на 8,5 % (p < 0,001), парафункции жевательных мышц — выше на 14,5 % (p < 0,001) (см. табл. 1).

Распространенность дистрофического заболевания пародонта — пародонтоза — была при систематическом воздействии вибрации выше, чем в контрольной группе на 4 % (p < 0,001), пародонтита — выше на 32,8 % (p < 0,001). Гингивит среди лиц, подверженных систематическому воздействию вибрации, встречался значительно реже, чем в контрольной группе (p < 0,001), однако суммарная распространенность воспалительных заболеваний пародонта (гингивита и пародонтита) была выше (75,2 \pm 2,2 и 66,6 \pm 1,6 % соответственно, p < 0,01).

Таким образом, распространенность основных стоматологических заболеваний среди лиц, подверженных систематическому воздействию вибрации, была достоверно выше, чем в контрольной группе.

Анализ цифровых показателей стоматологической заболеваемости по возрастным группам (табл. 2, 3) позволяет утверждать, что систематическое воздействие общей вибрации, независимо от возраста обследованных (в обеих возрастных группах), способствовало достоверному повышению показателей распространенности таких заболеваний пародонта, как пародонтоз и пародонтит (при соответствующем снижении показателя

распространенности гингивита), а также парафункций жевательных мышц. При этом пародонтальные карманы глубиной более 5 мм выявлены у 15.9 ± 5.4 % пациентов второго периода зрелого возраста, подвергающихся воздействию вибрации, что достоверно выше (р < 0,001), чем в контрольной группе (8,7 \pm 3,0 %). В большинстве случаев они диагностировались на фоне местных травмирующих факторов (аномалии положения зубов, низкое прикрепление уздечки губы и т.п.). В первом зрелом возрасте глубокие пародонтальные карманы не выявлены в обеих группах обследованных. Достоверного различия между группами обследованных в отношении патологической подвижности зубов, в основном I степени, также отмеченной в обеих группах только во втором периоде зрелого возраста, не выявлено (в контрольной группе – в 20.6 ± 4.2 %, в основной – в 30.7 ± 5.0 % случаев, p > 0.05).

Степень тяжести пародонтита у лиц, подвергающихся воздействию общей вибрации, имела значимую связь с количеством часов налета (воздействия вибрации) ($\chi^2 = 28.8$; p < 0,001).

Среди лиц, не подверженных воздействию вибрации (контрольная группа), вибрационная чувствительность десны составила $11,6\pm0,6$ с, что по данным литературы соответствует норме для здоровых людей (от $10,7\pm0,6$ до $15,6\pm0,7$ с) [17]. Вибрационная чувствительность десны среди пилотов вертолетов существенно ниже показателя контрольной группы (р < 0,01) (табл. 4).

У пилотов вертолетов, несмотря на отсутствие клинических проявлений вибрационной болезни, отмечается снижение вибрационной чувствительности тканей пародонта. При обследовании непосредственно после выполнения летной смены показатели вибрационной чувствительности существенно уменьшались (р < 0,001) и возвращались к уровню, зафиксированному до полета, в течение 60–90 мин (см. табл. 4).

Из данных, представленных в табл. 4, видно, что показатели электроодонтометрии у пилотов вертолетов были достоверно повышены по сравнению с контролем (р < 0,001), суммарное воздействие факторов полета также приводит к увеличению этих показателей по сравнению с предполетными их значениями (р < 0,05), а затем, через 60–90 мин, происходит постепенное возвращение их к уровню, зафиксированному до полета.

Показатели тонуса напряжения жевательных мышц пилотов вертолетов как до выполнения полета (173,6 \pm 16,6 г, р < 0,05), так и после него (137,2 \pm 22,9 г, р < 0,01) достоверно отличались от показателей контрольной группы (220,2 \pm 8,2 г).

Также отмечено достоверное различие показателей тонуса покоя жевательных мышц летного состава после выполнения полета ($85,6 \pm 14,3 \, \Gamma$)

Таблица 1

Распространенность стоматологических заболеваний среди лиц, подвергавшихся систематическому воздействию общей вибрации и контрольной группы, % ($P \pm mp$)

Заболевание	Лица контрольной группы (n = 864)	Лица, подвергающиеся воздействию вибрации (n = 404)	Уровень значимости, р
Кариес зубов	97,7 ± 0,5	98,0 ± 0,7	>0,05
Некариозные поражения зубов	10,0 ± 1,0	16,8 ± 1,9	<0,01
Гингивит	60,8 ± 1,7	36,6 ± 2,4	<0,001
Пародонтит	5.8 ± 0.8	38,6 ± 2,4	<0,001
Пародонтоз	0.2 ± 0.1	4,2 ± 1,0	<0,001
Заболевания СОПР	$3,2 \pm 0,6$	5,9 ± 1,2	<0,05
Парафункции жевательных мышц	1,6 ± 0,4	16,1 ± 1,8	<0,001
Дисфункция ВНЧС	$3,6 \pm 0,6$	12,1 ± 1,6	<0,001

Таблица 2

Распространенность стоматологических заболеваний у лиц первого периода зрелого возраста, подвергавшихся воздействию вибрации, и лиц контрольной группы первого периода зрелого возраста, % (P ± mp)

Заболевание	Лица контрольной группы, 1-й период зрелого возраста (n = 772)	Лица, подвергающиеся воздействию вибрации, 1-й период зрелого возраста (n = 316)	Уровень значимости, р
Кариес зубов	97,4 ± 0,6	97,5 ± 0,9	>0,05
Некариозные поражения зубов	8,9 ± 1,0	14,2 ± 2,0	<0,05
Гингивит	59,3 ± 1,8	43,7 ± 2,8	<0,001
Пародонтит	3,5 ± 0,7	29,4 ± 2,6	<0,001
Пародонтоз	-	1,9 ± 0,8	<0,05
Заболевания СОПР	2,8 ± 0,6	5,4 ± 1,3	>0,05
Парафункции жевательных мышц	1,3 ± 0,4	10,1 ± 1,7	<0,001
Дисфункция ВНЧС	2,2 ± 0,5	8,9 ± 1,6	<0,001

Таблица 3

Распространенность стоматологических заболеваний у лиц, подвергавшихся воздействию вибрации, и лиц контрольной группы, второго периода зрелого возраста, % (P \pm mp)

Заболевание	Лица контрольной группы, 2-й период зрелого возраста (n = 92)	Лица, подвергающиеся воздействию вибрации, 2-й период зрелого возраста (n = 88)	Уровень значимости, р
Кариес зубов	100	100	>0,05
Некариозные поражения зубов	18,5 ± 4,1	26,1 ± 4,7	>0,05
Гингивит	72,5 ± 4,7	14,8 ± 3,8	<0,001
Пародонтит	25,0 ± 4,5	71,4 ± 4,8	<0,001
Пародонтоз	2,2 ± 1,5	12,5 ± 3,6	<0,01
Заболевания СОПР	6,5 ± 2,7	8,0 ± 2,9	>0,05
Парафункции жевательных мышц	4,3 ± 2,1	37,5 ± 5,2	<0,001
Дисфункция ВНЧС	15,2 ± 3,8	23,9 ± 4,6	>0,05

Результаты клинико-функционального исследования (M ± σ)

Средние показатели	Пилоты вертолетов, n = 31, до полета	Пилоты вертолетов, n = 31, после полета	Контрольная группа, n = 20
Показатели вибрационной чувствительности десны, с	9,5 ± 0,4*	4,4 ± 0,9**	11,6 ± 0,6
Показатели электроодонтометрии, мкА	18,7 ± 2,8*	36, 1 ± 6,6**	8,2 ± 0,4
Показатели средней линейной скорости кровотока в сосудах пародонта, см/с	0,511 ± 0,166	0,148 ± 0,081**	0,623 ± 0,221
Показатели средней объемной скорости кровотока в сосудах пародонта, см³/с	0,035 ± 0, 012	0, 009 ± 0,005**	0,042 ± 0,016

Примечание. * – достоверность различий при р < 0,05 по сравнению с контролем; ** – с показателем до полета.

в сравнении с показателями контрольной группы (43,4 \pm 4,3 г, p < 0,01) и показателями до выполнения полета (54,4 \pm 6,2 г, p < 0,05).

Показатели средней линейной и средней объемной скорости кровотока в сосудах пародонта, изученные с помощью ультразвуковой допплерографии, оказались весьма вариабельны (см. табл. 4), и у лиц, подвергающихся систематическому воздействию общей вибрации, достоверно не отличались от показателей контрольной группы. Однако сравнение показателей пилотов вертолетов до полета и непосредственно после его завершения выявило существенные различия, выражавшиеся в значительном снижении средней линейной (р < 0,05) и средней объемной скорости кровотока (р < 0,05) в сосудах пародонта после воздействия на организм общей вибрации.

Результаты углубленного стоматологического обследования пилотов транспортных самолетов и вертолетов согласуются с данными исследования [19], в котором установлено, что распространенность пародонтита у пилотов вертолетов составляет 40,8 %.

Следует учитывать, что на территории Российской Федерации признаки поражения тканей пародонта имеют более 40 % подростков и более 80 % взрослых. В частности, распространенность пародонтита в возрасте 35—44 лет составляет 16 % [20].

Таким образом, среди пилотов, подвергавшихся систематическому воздействию общей вибрации, распространенность пародонтита выше по сравнению с популяцией на 22,6 % и по сравнению с контрольной группой выше на 32,8 %.

Распространенность пародонтоза (дистрофического заболевания пародонта) среди пилотов выше показателя контрольной группы на 4 %, а в группе пилотов второго зрелого возраста — выше 10,3 %, что, вероятно, объясняется как прямым, так и опосредованным (через функциональные преобразования центральной нервной системы, нарушения гемомикроциркуляции и обменных процессов в тканях пародонта) воздействием общей вибрации на сосуды пародонта.

Высокие по сравнению с популяцией и с контрольной группой показатели распространенности пародонтита, кроме неблагоприятного воздействия общей вибрации, вероятно, объясняются воздействием сопутствующих неблагоприятных факторов авиационного полета, таких, как шум, психоэмоциональный стресс, способствующих, как и вибрация, повышению уровня в крови свободных радикалов и угнетению деятельности естественной антиоксидантной системы организма, которые являются патогенетическими факторами развития пародонтита. Кроме того, определенную роль могут играть сопутствующие заболевания внутренних органов (например, желудочно-кишечного тракта), имеющие общие с пародонтитом механизмы патогенеза, одним из которых является перекисное окисление липидов клеточных мембран.

Результаты клинико-функционального обследования пилотов вертолетов, проведенные до и после летной смены, свидетельствуют о наличии функциональных изменений органов и тканей полости рта, связанных с воздействием факторов авиационного полета.

Выводы

- 1. Распространенность пародонтита среди пилотов транспортных самолетов и вертолетов выше по сравнению с популяцией на 22,6 % и по сравнению с контрольной группой выше на 32,8 %.
- 2. У пилотов вертолетов выявлены преходящие (снижение линейной и объемной скорости кровотока в сосудах пародонта) и стойкие (снижение вибрационной чувствительности десны, снижение тонуса напряжения жевательных мышц, повышение показателей электроодонтометрии) функциональные изменения органов и тканей полости рта, которые могут быть обусловлены воздействием общей вибрации.

Список литературы

1. Колесов В.Г., Лахман О.Л. Вибрационная болезнь у горнорабочих Крайнего Севера // Медицина труда и промышленная экология. 2001. \mathbb{N}° 2. С. 7–11.

Kolesov V.G., Lakhman O.L. Vibration disease in far north miners // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2001. \mathbb{N}° 2. S. 7–11.

2. Радгударзи К.Ф., Иорданишвили А.К. Патология органов ротовой полости у людей, работающих с источниками хронической вибрации // Пародонтология. 2010. № 2 (55). С. 25–28.

Radgudarzi K.F., Iordanishvili A.K. Pathology of the organs of the oral cavity in people working with sources of chronic vibration // Parodontologiya. 2010. № 2 (55). P. 25–28.

- 3. *Bovenzi M.* Metrics of whole-body vibration and exposure-response relationship for low back pain in professional drivers: a prospective cohort study // Int. Occup. Environ. Health. 2009. V. 82. № 7. P. 893–917.
- 4. *Романов Н.С.* Биологическое действие вибрации и звука: Парадоксы и проблемы XX века. Л., 1991.

Romanov N.S. The biological effect of vibration and sound: Paradoxes and problems of the XX century. Leningrad, 1991.

5. Андреева-Галанина Е.Ц., Дрогичина Э.А. Артамонова В.Г. Вибрационная болезнь. Л., 1961.

Andreeva-Galanina E.Ts., Drogichina E.A., Artamonova V.G. Vibratory disease. Leningrad, 1961.

6. Герасименко О.Н., Шпагина Л.А., Чернышев В.М. и др. Диагностика сосудистых нарушений при вибрационной болезни на основе изучения лейкоцитарно-эндотелиальных механизмов // Медицина труда и промышленная экология. 2005. № 10. С. 21–26.

Gerasimenko O.N., Shpagina L.A., Chernyshev V.M. et al. Diagnosis of vascular disorders in vibration disease based on the study of leukocyte-endothelial mechanisms // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2005. № 10. P. 21–26.

7. Шпагина Л.А., Третьяков С.В., Герасименко О.Н., Чернышов В.М. Эндотелиальная дисфункция при вибрационной болезни: клинические и патогенетические аспекты. Новосибирск, 2004.

Shpagina L.A., Tret'yakov S.V., Gerasimenko O.N., Chernyshov V.M. Endothelial dysfunction in vibrational disease: clinical and pathogenetic aspects. Novosibirsk, 2004.

8. Профессиональная патология: национальное руководство / Н.Ф. Измеров, ред. М., 2011.

Occupational pathology: national leadership / N.F. Izmerov, ed. Moscow, 2011.

9. Бабанов С.А., Татаровская Н.А. Вибрационная болезнь: современное понимание и дифференциальный диагноз // Русский мед. журн. 2013. Т. 21. № 35. С. 1777—1985.

Babanov S.A., Tatarovskaya N.A. Vibration disease: current understanding and differential diagnosis // Russkiy meditsinsky zhurnal. 2013. V. 21. № 35. P. 1777–1985.

10. Вербовой $\Phi.\Phi$. Влияние локальной и общей вибрации на минеральную плотность костной ткани и фосфорно-кальциевый обмен // Гигиена и санитария. 2001. \mathbb{N}° 6. С. 42–44.

Verbovoy F.F. The influence of local and general vibration on bone mineral density and calcium-phosphorus metabolism // Gigiena i sanitariya. 2001. № 6. P. 42–44.

11. *Михалёва Л.М., Шаповалов В.Д., Бархина Т.Г.* Хронический пародонтит. Клиническая морфология и иммунология. М., 2004.

Mikhaleva, L.M., Shapovalov V.D., Barkhina T.G. Chronic periodontitis. Clinical morphology and immunology. Moscow, 2004.

- 12. Wactawski-Wende J. Periodontal diseases and osteoporosis: association and mechanisms // Ann. Periodontol. 2001. V. 6. \mathbb{N}° 1. P. 197–208.
- 13. Борщевский И.А., Терентьев В.Г. Авиационные шумы, вибрация и меры защиты от их воздействия. М., 1965.

Borshchevskiy I.A., Terent'ev V.G. Aviation noise, vibration and protective measures against their effects. Moscow, 1965.

14. *Гуровский Н.Н.* О влиянии вибрации вертолета Ми-4 на величину скрытого периода двигательной реакции летчика // Воен.-мед. журн. 1957. № 7. С. 79.

Gurovskiy N.N. On the effect of vibration of the Mi-4 helicopter on the value of the latent period of the pilot's motor reaction // Voenno-meditsinsky zhurnal. 1957. Nº 7. P. 79.

15. Физиология летного труда: Учеб. / В.С. Новиков, ред. СПб., 1997.

Physiology of flight labor: Textbook / V.S. Novikov, ed. St. Petersburg, 1997.

16. *Бондарев Э.В., Егоров В.А., Новиков В.С., Лустин С.И.* Медицинское обеспечение полетов на вертолетах наземного и палубного базирования: Учеб. пос. СПб., 1995.

Bondarev E.V., Egorov V.A., Novikov V.S., Lustin S.I. Medical support for flights on land and deck-based helicopters: Training manual. St. Petersburg, 1995.

17. Никитина Т.В., Родина Е.Н. Вибропародонтальный синдром. М., 2003.

Nikitina T.V., Rodina E.N. Vibro-periodontal syndrome. Moscow, 2003.

18. Рекомендации VII Всесоюз. конф. по проблемам возрастной морфологии, физиологии и биохимии АПН СССР. М., 1965.

Recommendations of the VII All-Union Conference on the problems of age-related morphology, physiology and biochemistry of the USSR Academy of Pedagogical Sciences. Moscow, 1965.

19. Симакова Т.Г., Пожарицкая М.М., Спицына В.И. и др. Оценка эффективности гомеопатического препарата «Траумель С» в комплексном лечении хронического генерализованного пародонтита у летчиков вертолетной авиации Вооруженных Сил РФ // Пародонтология. 2006. \mathbb{N}° 4. С. 48–53.

Simakova T.G., Pozharitskaya M.M., Spitsyna V.I. et al. Evaluation of the effectiveness of the homeopathic preparation «Traumeel C» in the complex treatment of chronic generalized periodontitis in helicopter pilots of the Armed Forces of the Russian Federation // Parodontologiya. 2006. N 4. P. 48–53.

20. *Кузьмина Э.М., Янушевич О.О.* Профилактическая стоматология: Учеб. М., 2016.

Kuz'mina E.M., Yanushevich O.O. Prophylactic dentistry: A Textbook. Moscow, 2016.

Поступила 09.01.2019

EFFECT OF SYSTEMATIC EXPOSURE TO TOTAL VIBRATION ON THE CONDITION OF PILOT'S MOUTH CAVITY

Kovalevsky A.M., Iordanishvili A.K., Gaivoronsky I.V., Pashchenko P.S., Latif I.I.

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

In-depth dental investigation of 404 pilots of transport airplanes and helicopters had the aim to assess effects of systematic exposure to total vibration. The control group consisted of 864 people of different occupations.

Measurement of the gum vibration sensitivity, electroodontometry (EOM), myotonometry, ultrasonic Doppler investigation of the parodontal vessels functioning were applied to 31 helicopter pilots (24-43 y.o., 400 to 2000 flying hours) and 20 essentially healthy people at the age of 24–45 years who had not experienced vibration.

Parodontosis and periodontitis were more common among pilots than in the control group by 4 % (p < 0.001) and 32.8 % (p < 0.001), respectively.

Shortly after flight, the vibration sensitivity went down to $4.4 \pm 0.9 \, \mathrm{s} \, (p < 0.001)$, EOM indices showed a rise (p < 0.05), mean linear and mean volume velocities in parodontal vessels decreased (p < 0.05), the masseter tension and relaxation tones changed (p < 0.05). The parameters regained preflight values in 60-90 minutes after landing.

Key words: pilots, total vibration, gingivitis, periodontitis, parodontitis, vibration sensitivity of the gum, linear and volume blood flow velocity.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. № 7. P. 84–90.

УДК 616.1-02:613.84-547.262; 616.1-036.88-02:613.81

ОСОБЕННОСТИ ПОТРЕБЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КИСЛОРОДА ОРГАНИЗМОМ ПАЦИЕНТОВ С ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА В ДНИ МАГНИТНЫХ БУРЬ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ПСИХОСОМАТИЧЕСКОГО СТАТУСА И ВАРИАНТА ЛЕЧЕНИЯ

Усенко Г.А.¹, Васендин Д.В.², Усенко А.Г.³, Шакирова Н.А.⁴

- ¹«Новосибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
- ²«Сибирский государственный университет геосистем и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Новосибирск
- ³Новосибирский областной госпиталь № 2 ветеранов войн
- ⁴Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Новосибирск

E-mail: vasendindv@gmail.com

Цель исследования – изучение величины потребления и использования кислорода организмом высоко- и низкотревожных мужчин с различным темпераментом, страдающих ишемической болезнью сердца (ИБС) и артериальной гипертензией в период геомагнитных возмущений. Обследована группа мужчин, страдающих ИБС, стабильной стенокардией напряжения ФК-II, НК0-1 и гипертонической болезнью I степени (ГБ-I), риском 3, с различными темпераментом и уровнем тревожности. Определяли активность симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, минутный объем кровотока, содержание в сыворотке крови кортизола, инсулина и альдостерона. Исследовали различия в содержании кислорода в артериализованной венозной и чисто венозной крови. Для определения геофизических изменений в период магнитных бурь использовался метод наложенных эпох. В период геомагнитных возмущений зарегистрировано повышение у-фона среды. В эти дни у больных отмечали увеличение минутного объема кровотока, минутного объема дыхания и величины потребления кислорода, которые сочетались со снижением утилизации кислорода тканями (по величине использования кислорода и коэффициенту утилизации кислорода тканями). Реакция организма по исследуемым показателям у холериков проявлялась за сутки и в 1-е сутки магнитной бури, у сангвиников – в день геомагнитных возмущений и на 2-е сутки, у флегматиков – на 3-4-е, у меланхоликов – на 4-5-е сутки. Особенно выраженными были реакции в группах высокотревожных флегматиков и меланхоликов, которые должны быть включены в группу риска обострения ИБС. Антиангинальная терапия и блокада существенно уменьшили число приступов и приблизили значения коэффициентов использования кислорода и утилизации кислорода к таковым у здоровых лиц с соответствующей тревожностью и темпераментом.

Ключевые слова: ишемическая болезнь сердца, магнитные бури, утилизация кислорода.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. T. 53. № 7. C. 91-99.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-91-99

Современные исследователи и клиницисты указывают на актуальную тенденцию в современном здравоохранении: преобладание в общей структуре заболеваемости нозологических форм хронических заболеваний. Генез таких заболеваний имеет выраженный мультифакторный характер, для них характерна системность и коморбидность (полиморбидность). Это обусловливает сложность диагностики, выбора стратегии лечения, медицинской тактики ведения полиморбидных пациентов, профилактики развития осложнений сочетанных заболеваний [1]. В этой связи артериальная гипертензия (АГ) и ишемическая болезнь сердца (ИБС), а также их осложнения занимают особое место [2, 3]. На течение АГ и ИБС влияют различные факторы как социального, так и природного генеза, включая изменение погодных факторов – солнечной (СА) и геомагнитной активности [4-6]. Фактор СА, влияющий на организм, неизвестен, однако геомагнитные возмущения (ГМВ), или магнитные бури (М-бури), сочетаются с изменениями артериальной гемодинамики, капиллярного кровотока, повышением активности свертывающей системы крови, перекисного окисления липидов, снижением сократительной способности миокарда и других физиологических показателей [4, 7, 8]. Нарушения, характеризующие ИБС и другие сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ), во многом обусловлены развивающейся гипоксией органов и тканей. Для обеспечения рациональной терапии, назначения адресного лечения больным необходимо глубокое понимание патогенетических процессов, во многом определяющих сердечно-сосудистую патологию, поэтому целью исследования

было изучение потребления кислорода (ΠO_2) и его использования организмом ($K U O_2$) при ГМВ у высоко- и низкотревожных мужчин с различным темпераментом, страдающих ИБС и АГ-I.

Методика

В период с 2000 по 2010 г. в амбулаторных условиях обследована группа мужчин, технических работников, в возрасте 44—62 лет (54,2 \pm 1,8) года, страдающих ИБС, стабильной стенокардией напряжения ФК-II, НК $_{0-1}$ и гипертонической болезнью I степени (ГБ-I), риском 3. В год обследовалось 640 \pm 11 пациентов (в среднем 43 \pm 2 человека).

Исходя из 4 разновидностей темперамента, было выделено 8 групп: 4 высоко- (ВТ) и 4 низкотревожных (НТ). Наличие ИБС устанавливали по критериям, изложенным в работах [3, 9, 10]. У 96 % обследуемых отсутствовала патология, препятствующая трудовой деятельности. Средняя продолжительность ИБС и ГБ-I составила 8,6 ± 1,1 года. Контролем служили 456 ± 9 (в год) здоровых мужчин, совместимых по основным антропосоциальным показателям. Приверженность к лечению была ниже необходимой. В целях определения особенностей психосоматического статуса изучали: 1) активность симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы по вегетативному индексу Керде (ВИК): 4CC / ДАД - 1; 2) минутный объем кровотока (МОК), который является интегральным показателем состояния артериальной гемодинамики: [(САД - ДАД) х ЧСС] : $[(CAД + ДАД) : 2] \times 100$, где CAД - систолическоеартериальное давление; ДАД - диастолическое артериальное давление, ЧСС - частота сердечных сокращений [11]; 3) содержание в сыворотке крови кортизола, инсулина и альдостерона радиоиммунным методом с использованием коммерческих реактивов фирмы CEA-IRE-SORIN (Франция, Италия). Данные о состоянии внешнего дыхания: частоте и глубине дыхания, минутном объеме дыхания (МОД), потреблении кислорода (ПО₂) и использование кислорода тканями (КИО,) – получали в условиях базального обмена на оксиспирографе «METATECT-2» (фирма «МЕДИКОР», Венгрия), определяли различия в содержании кислорода в артериализованной венозной и венозной крови: напряжение кислорода в крови (рО₂, мм рт. ст.) и насыщение (сатурацию) гемоглобина (Нв) кислородом (SaO₂, %) с помощью анализатора газов крови STAT PROFILE. рНОх (Германия). Содержание Нв (г/л) определяли гемоглобинцианидным методом на приборе КФК-2 [12], содержание кислорода (O_2) в крови CaO_2 – по формуле $CaO_2 = (1,34 \text{ x HB x SaO}_2 / 100 + pO_2) \text{ x}$ 0,0031, где CaO_2 — содержание кислорода в крови; 1,34 - константа Хюфнера; Нв - содержание гемоглобина в крови; SaO₂ - насыщение Нв кислородом; рО₂ – напряжение кислорода в крови; 0,0031 - коэффициент растворимости кислорода по Бунзену. Для получения артериализированной венозной крови средний палец руки исследуемого человека помещали в воду температурой 50 °C на 3 мин и забирали до 2 мл крови. Забор венозной крови производили из локтевой вены той же руки. После определения СаО, вычисляли разницу содержания кислорода в артериализированной и чисто венозной крови и умножали на 100, т.е. определяли долю кислорода, утилизированного тканями (в %). В норме (чисто артериальная кровь) коэффициент утилизации кислорода тканями (КУКТ) колеблется в пределах от 30 до 40 %. Полученные данные не вышли за указанные в работе [13] границы. Выбранная методика была для всех одинаковой, что позволило сравнить данные о тканевой экстракции кислорода тканями у ВТ- и НТ-лиц с различным темпераментом. В целях определения эффективности лечения в группе учитывали количество (в %) лиц, перенесших приступы стенокардии.

Превалирующий темперамент – холерический (X), сангвинический (С), флегматический (Ф) и меланхолический (М) - определяли с использованием тестов Дж. Айзенка в интерпретации А. Белова [14]. Темперамент определяли не менее 4–5 раз до лечения и далее 1 раз в 3 мес. Величину реактивной и личностной тревожности определяли по тесту Ч. Спилбергера в модификации Ю.Л. Ханина [15] с той же частотой, что и темперамент. Уровень НТ не превысил 29,6 \pm 1,5 балла, а BT - 48,6 \pm 1,5 балла. Уровень депрессивности определяли по методике Э.Р. Ахметжанова [16], где состояние без депрессии характеризовалось 20-50 баллами, 51-59 баллов состояние легкой депрессии неврогенного (ситуативного) генеза, 60-69 баллов - субдепрессивное состояние, от 70 баллов и выше – истинное депрессивное состояние.

ВТ-лицам психоневрологи назначали анксиолитик сибазон по 2,5 мг утром и на ночь. Из антидепрессантов назначали коаксил по 12,5 мг утром и вечером, избегая назначение трициклических антидепрессантов и анксиолитиков НТ-лицам [1]. Лечение осуществлялось в рамках использования 6 групп препаратов, согласно требованиям приказа № 254 Минздравсоцразвития России от 22.11.2004 г. «Об утверждении стандарта медицинской помощи больным артериальной гипертонией» и на основании выполнения коррекции особенностей психосоматического статуса: у X/ВТ и С – превалирование симпатического, а у Ф и М – парасимпатического отделов вегетативной нервной системы и более высокая активность ренин-ангиотензин-альдостероновой системы (РААС по альдостерону). В этой связи X/ВТ и С пациентам назначали периферический вазодилататор нитросорбид по 10 мг х 4 раза/сут + β-адреноблокатор метопролол по 200 мг/сут +

диуретик гидрохлортиазид по 25 мг/сут + анксиолитик сибазон по 2,5 мг утром и на ночь, а X/HT и С анксиолитики не назначались, гидрохлортиазид назначался им в дозировке 12,5 мг/сут, а метопролол – по 100 мг/сут. Для Ф/ВТ и М пациентов: периферический вазодилататор нитросорбид по 10 мг х 4 раза/сут + ингибитор ангиотензинпревращающего фермента эналаприл 20 мг/сут + диуретик гидрохлортиазид по 25 мг/сут + антидепрессант коаксил по 12,5 мг утром и вечером (в 4 % случаев золофт по 25 мг/сут), а для Ф/НТ и М – без антидепрессанта, кроме того, НТ-лицам гидрохлортиазид назначался по 12,5 мг/сут, а метопролол - по 100 мг/сут. Все остальные больные с определившимися темпераментом и тревожностью принимали такие же препараты, назначаемые без целенаправленного купирования тревожности и депрессивности по темпераменту, а также активности отделов вегетативной нервной системы и РААС. Пациенты получали панангин и кардиомагнил (1 таб х 1 раз/сут, утром), предуктал по 20 мг 2-3 раза/сут. Препараты, влияющие на метаболизм холестерина, принимали 10 % обследуемых, причем нерегулярно. Назначался аторвастатин по 0,1 г/сут однократно в вечернее время.

Все исследования, в том числе определение мощности у-фона на рабочих местах обследуемых, осуществляли с 8.00 до 10.00, забор материала проводился в это же время натощак. Частота исследования мощности у-фона среды составила 52 ± 2 измерения ежесуточно. Данные о состоянии СА, М-бурях и мощности у-фона внешней среды (мкР/ч) по дням, месяцам года и по годам с 2000 по 2010 г. получали из лаборатории ионосферно-магнитного прогнозирования ФГБУ «Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» г. Новосибирска. Для определения изменений в период М-бурь использовали метод наложенных эпох [4], где значения показателей учитывали за 7-2 (-7, -6, -5, -4. -3, -2, -1) суток до начала М-бури, в день бури (0) и в последующие от начала М-бури дни (+1, +2, +3, +4, +5, +6, +7).

Полученные результаты обрабатывали методами вариационной статистики с использованием прикладных программ Statistica 6.0 и параметрического t-критерия Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при p < 0,05. Результаты в таблицах представлены как $M \pm m$; где M - среднестатистическое значение, m - стандартная ошибка от среднего.

Выбор методик исследования обусловлен их наличием в практическом здравоохранении, они соответствуют требованиям Хельсинкской декларации лечения и обследования людей и были одобрены Комитетом по этике Новосибирского государственного медицинского университета от 20.11.2009 г., протокол № 18.

Результаты и обсуждение

Было установлено, что положительные значения вегетативного индекса Кердо у X/ВТ и С/ВТ свидетельствовали о превалировании тонуса симпатического, а отрицательные у Ф/ВТ и М – о превалировании влияния парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. У X/HT и С равновесность смещена в сторону симпатического, а Ф/НТ и М лиц - парасимпатического отдела, хотя и в меньшей степени, чем у ВТ-лиц. Указанные различия отнесены к психосоматическим особенностям пациентов, а назначение анксиолитика + селективного β-адреноблокатора для Х/ВТ и С, с одной стороны, и ингибитора ангиотензинпревращающего фермента + антидепрессанта + верошпирона для Ф/ВТ и М, с другой, основано на особенностях психосоматического статуса. На этом основании здесь и по тексту антиангинальная терапия, не связанная с блокадой психосоматических особенностей, обозначена ААТ, а с блоком особенностей психосоматического статуса – как ААТ + БлОПСС.

Исследование показало статистически значимое повышение мощности у-фона среды за сутки (-1), в первые (0) и 2-3-и (+1, +2) сутки геомагнитных возмущений (магнитных бурь). Далее отмечалось снижение до исходных значений, и только к +4 -+5-м суткам от начала М-бури она вновь возрастала. Были отмечены две «волны» подъема мощности у-фона среды в границах установленной (для данного региона) нормы. Однако эти явления сочетались со статистически значимым изменением величины изученных показателей. Так, изменения МОК у X/ВТ-лиц отмечены за сутки -1 и +1 - +2-е сутки геомагнитных возмущений. К +3-м суткам от начала М-бури МОК снижался до исходных значений. В группах С/ВТ-лиц статистически значимое повышение МОК отмечено в день начала М-бури, а к исходным значениям МОК снижался на +5-е сутки. В группах Ф/ВТ-лиц этот показатель статистически значимо возрастал на +2 - +3-и, а в группах M/BT — лишь на +3 — +4-е от начала M-бури сутки. К исходным значениям у Ф/ВТ МОК снижался на +5-е, а в группах М/ВТ – на +7-е сутки. У Ф/ВТ в это время отмечалось снижение вегетативного индекса Кердо (тонуса парасимпатического отдела вегетативной нервной системы) в среднем с -6 ± 0.4 до -1 ± 0 ,4, а у M/BT - до -1,5 ± 0 ,4. В группах пациентов, принимавших ААТ + БлОПСС, характер изменения МОК был такой же, как у пациентов, принимавших только вариант ААТ. Однако во все дни исследования величина МОК у них была ниже, а к исходным значениям МОК снижался на 2 сут раньше, чем у пациентов, которым назначался только вариант ААТ. В группах НТ-пациентов рисунок изменения МОК был такой же, но величина МОК у них была на 0.75 ± 0.05 л статистически значимо ниже,

чем у ВТ-лиц соответствующего темперамента. В группах здоровых ВТ- и НТ-мужчин изменения МОК были такие же, как указано выше, но величина МОК у них была ниже в среднем на 0.76 ± 0.04 л, нежели у обследованных из числа больных соответствующего темперамента и тревожности. У НТ-пациентов, получавших вариант лечения, обозначенный как ААТ + БЛОПСС, величина МОК была практически такой же, как у здоровых лиц соответствующего темперамента. У лиц с симпатикотонией (Х и С) увеличение МОК сочеталось с повышением напряженности магнитного поля Земли и у-фона среды за сутки и в 1-й день М-бури, а у парасимпатотоников (Ф и М) – на дни снижения напряженности магнитного поля Земли и повторного повышения мощности у-фона среды. Выраженность реакции у ВТ-лиц оказалась выше, чем у НТ-лиц. Анализ оксиспирограмм показал, что в «спокойные» от геомагнитных возмущений дни у X/BT МОД варьировал в границах 10.7 ± 0.1 л, у C/BT $- 11.1 \pm 0.06$ л; у Ф/ВТ – 11,5 ± 0,05 л, а у M/BT – 12,0 ± 0,05 л. В дни же М-бурь МОД у всех лиц увеличивался в те же дни, что и МОК. У Х/ВТ-пациентов МОД увеличивался за сутки и в 1–2-е сутки М-бури, достигая 11.7 ± 0.05 и $12,5 \pm 0,05$ л соответственно. У С/ВТ пик повышения МОД пришелся на начало 0) и 1-й (+1) день М-бури: $11,7 \pm 0,05$ и $12,5 \pm 0,05$ л соответственно. В группе Ф/ВТ-пациентов максимум увеличения МОД отмечен на +3 - +4-е сутки от начала ГМВ и составил 12,3 \pm 0,05 и 12,6 \pm 0,05 л, а у M/BT – на +4 - +5-е сутки: 13,5 ± 0,05 и 13,8 ± 0,05 л соответственно на фоне приема препаратов, включенных в группу ААТ. Аналогичный характер изменения МОД был у пациентов, принимавших ААТ + БЛОПСС, но величина МОД была статистически значимо на 1.0 ± 0.05 л ниже по сравнению с лицами соответствующего темперамента. В группах НТ-пациентов отмечена такая же динамика, но величина МОД у них была ниже по сравнению с ВТ-пациентами на $1,1 \pm 0,04$ л. У HT-больных, получавших AAT + БлОПСС, МОД в указанные дни был статистически значимо ниже на 0.6 ± 0.05 л, чем у HT-пациентов на фоне проведения только антиангинальной терапии. У ВТ- и НТ-пациентов, лечившихся по схеме ААТ + БЛОПСС, во все дни исследования значения МОД приближались к таковым у обследованных контрольных групп. У здоровых ВТ- и НТ-лиц рисунок изменений был аналогичным с рисунком пациентов, но во все дни исследования, а также в период высокой гелиогеофизической обстановки МОД был ниже, чем у больных лиц, на 0.63 ± 0.05 л соответственно темпераменту. Известно, что повышение потребности в кислороде связано с повышением МОД и МОК [12]. Вероятно, увеличение МОД и МОК в период геомагнитных возмущений является следствием изменившегося энергетического обеспечения организма. Действительно, ПО, у здоровых и больных повышалось и приходило к исходным значениям в те же дни, что МОК и МОД. На фоне проведения лечения по варианту ААТ ПО, у X/ВТ в «спокойные» от М-бурь дни изменялся в пределах 268,2 \pm 0,2 мл/ч. За сутки до М-бури и в 1-й ее день ПО увеличивалось до $278,2 \pm 0,2$ мл/ч. В группе C/BT величина ΠO_3 увеличивалась с 260,2 \pm 0,2 мл/ч (в спокойные д $\bar{\text{н}}$ и) до 272,3 ± 0,2 мл/ч в 1-й и 2-й день ГВМ. У Ф/ВТ ПО $_{3}$ был не выше 261,6 ± 0,2 мл/ч и ниже, чем у X и \tilde{C}/BT , а у M/BT - 257, $2 \pm 0,2$ мл/ч. В те же дни, что и увеличение МОК, ПО, статистически значимо увеличивалось у Φ/BT до $\bar{2}71,3 \pm 0,2,$ у $M/BT - до 269,4 \pm 0,2 мл/ч. У всех лиц снижение <math>\Pi O_3$ к исходным значениям происходило в те же дни, что и МОК. В группах ВТ-пациентов, принимавших лечение по схеме ААТ + БлОПСС, динамика схожая, но величина ΠO_3 была ниже на 7,3 \pm 0,2 мл/ч соответственно темпераменту. У НТ-пациентов паттерн изменений не отличался от ВТ, но величина ПО, во все дни исследования была ниже по сравнению с таковой у ВТ-лиц на $10,0 \pm 0,05$ мл/ч. У НТ-пациентов на фоне получения лечения по схеме ААТ + БЛОПСС величина ПО, была практически такой же, как у здоровых НТ-лиц соответствующего темперамента. За сутки и в период геомагнитных колебаний отмечен рост потребления кислорода. Однако повышение МОК, МОД и ПО, у ВТ- и НТ-лиц на фоне терапии вариантами ААТ и ААТ + БЛОПСС сочеталось не с повышением, а со снижением величины КИО, и КУКТ в те же дни, что и повышение МОК, МОД и ПО₃. Оказалось, что уровень утилизации кислорода тканями (по КИО, и артериоловенозной разнице содержания O₂) ниже, чем в спокойные дни. Однако на фоне использования варианта терапии ААТ + БЛОПСС снижение КИО, и КУКТ было менее выраженным (табл. 1, 2).

К исходным значениям величины KNO_2 и KYKT приходили в те же дни, что и MOK. Но и в данных условиях у BT-лиц во все дни исследования KNO_2 и KYKT были ниже, чем у HT-лиц соответствующего темперамента. Положительным явилось то, что на фоне такого лечения величина указанных показателей у BT(HT)-пациентов приближалась к значениям у BT(HT)-здоровых лиц (на $2,2\pm0,05\%$ по KNO_2 и $2,3\pm0,05\%$ по KYKT) соответственно темпераменту.

На фоне проведения лечения по схеме ААТ число приступов загрудинных болей в спокойные от М-бурь дни статистически значимо возрастало в последовательном ряду $M > \Phi > C > X$: $4,3 \pm 0,04 > 3,5 \pm 0,05 > 2,7 \pm 0,04 > 1,8 \pm 0,05$. В период геомагнитных колебаний и за сутки (только у X) число приступов увеличивалось в том же последовательном «темпераментальном» ряду до $6,4 \pm 0,06 > 5,6 \pm 0,05 > 4,5 \pm 0,04$ соответственно. В аналогичных группах, принимавших лечение по схеме ААТ + БлОПСС, число приступов загрудинных болей до

Таблица 1

КИО₂ (%) до и после магнитной бури у ВТ-пациентов на фоне антиангинальной терапии без сочетания (1) и в сочетании (1a) с препаратами, блокирующими особенности психосоматического статуса, за период исследования с 2000 по 2010 г. (р < 0,05)

Дни в пер после	Дни до, в период и после начала М-бури	-5-	-2	-1	0	+1	+2	+3	++	+ 5	+7
Мощ ү-фона мк	Мощность ү-фона среды, мкР/ч	90'0 = 8'8	9,1 ± 0,06	11,9 ± 0,05	12,5 ± 0,03	9,5 ± 0,06	9,4 ± 0,06	11,2 ± 0,05	11,9 ± 0,03	9,1 ± 0,06	90'0 = 0'6
>	1	25,3 ± 0,1 n = 33	24,5 ± 0,1 n = 33	23,6 ± 0,05 n = 33	23,0 ± 0,04* n = 35	23,9 ± 0,05 n = 32	24,4 ± 0,04* n = 33	24,5 ± 0,05 n = 33	24,8 ± 0,06 n = 32	25,2 ± 0,03* n = 31	$25,0 \pm 0.03*$ n = 35
<	1a	26,0 ± 0,04* 34	25,9 ± 0,05 n = 32	24,9 ± 0,03* n = 34	24,6 ± 0,05 n = 36	24,9 ± 0,05 n = 34	25,4 ± 0,04* n = 35	25,7 ± 0,05 n = 34	25,9 ± 0,06 n = 35	26,2 ± 0,03 n = 33	26,2 ± 0,03* n = 36
C	П	24,0 ± 0,05 n = 34	24,4 ± 0,05 n = 32	23,4 ± 0,04* n = 33	22,7 ± 0,05 n = 34	22,6 ± 0,05 n = 33	23,0 ± 0,04 n = 34	23,6 ± 0,05 n = 33	23,7 ± 0,04* n = 33	24,6 ± 0,03* n = 34	24,2 ± 0,03* n = 36
)	1a	24,9 ± 0,04* n = 34	24,8 ± 0,05 n = 35	24,2 ± 0,03* n = 36	23,8 ± 0,05 n = 34	23,7 ± 0,05 n = 34	24,1 ± 0,04* n = 33	24,8 ± 0,05 n = 34	24,7 ± 0,06 n = 35	24,8 ± 0,03 n = 33	25,4 ± 0,03 n = 34
€	П	22,8 ± 0,04* n = 32	22,2 ± 0,06 n = 35	22,0 ± 0,4 n = 33	21,8 ± 0,1 n = 32	21,6 ± 0,1 n = 35	21,5 ± 0,04 n = 34	21,2 ± 0,05 n = 33	21,0 ± 0,04* n = 34	21,3 ± 0,03 n = 31	22,7 ± 0,03* n = 33
-	1a	23,6 ± 0,03* n = 33	23,4 ± 0,05 n = 34	22,9 ± 0,03* n = 33	22,6 ± 0,05 n = 35	22,4 ± 0,05 n = 35	22,3 ± 0,04* n = 35	22,2 ± 0,05 n = 36	22,3 ± 0,06 n = 32	22,7 ± 0,03* n = 33	23,8 ± 0,03 n = 36
Σ	1	21,3 ± 0,06 n = 34	20,9 ± 0,06 n = 31	20,5 ± 0,03* n = 32	$20,4 \pm 0,1$ n = 32	20,2 ± 0,1 n = 33	20,2 ± 0,04 n = 33	20,0 ± 0,05 n = 32	19,7 ± 0,04* n = 33	19,5 ± 0,03* n = 34	21,3 ± 0,03* n = 36
=	1a	22,4 ± 0,04* n = 34	21,8 ± 0,05 n = 34	21,5 ± 0,03* n = 33	21,4 ± 0,05 n = 33	21,3 ± 0,05 n = 34	21,3 ± 0,04* n = 33	21,1 ± 0,05 n = 33	20,8 ± 0,06 n = 34	20,9 ± 0,03* n = 33	22,4 ± 0,03 n = 35

Примечание. Здесь и в табл. 2: пациенты-мужчины с различным темпераментом, высоким и низким уровнями тревожности: 1, 2 — без коррекции особенностей ПСС; 1a, 2a — с коррекцией особенностей ПСС; n — количество исследований; * — статистически достоверные различия (p < 0,05).

КУКТ (%) до и после магнитной бури у ВТ-пациентов на фоне антиангинальной терапии без сочетания (1) и в сочетании (1a) с препаратами, блокирующими

		•	особенности пс	особенности психосоматического статуса, за период исследования с 2000 по 2010 г. (р < 0,05)	ого статуса, за	а период исслє	дования с 200) по 2010 г. (р	< 0,05)		
Дни до, в после нач	Дни до, в период и после начала М-бури	ī	-5	17	0	+1	+2	+3	+	+5	+7
>	н	34,3 ± 0,08 n = 30	33,6 ± 0,1 n = 31	32,1 ± 0,07 n = 33	31,6 ± 0,06 n = 35	32,0 ± 0,05 n = 32	$32,1 \pm 0,05$ n = 33	32,6 ± 0,1 n = 33	33,3 ± 0,06 n = 32	35,2 ± 0,1 n = 31	$35,3 \pm 0,03*$ n = 35
<	1a	36,1 ± 0,07 n = 31	37,2 ± 0,05 n = 33	36,2 ± 0,03* n = 34	35,2 ± 0,05 n = 36	34.7 ± 0.05 n = 34	34,9 ± 0,04 n = 35	35,3 ± 0,05 n = 34	36,5 ± 0,06 n = 35	36,9 ± 0,03* n = 33	$36,7 \pm 0,03$ n = 36
(П	33,3 ± 0,05 n = 33	$32,7 \pm 0,05$ n = 31	30,8 ± 0,04 n = 33	30,3 ± 0,05 n = 34	29,9 ± 0,05 n = 33	29,3 ± 0,04* n = 34	29,6 ± 0,05 n = 33	30,3 ± 0,04* n = 33	32,7 ± 0,03* n = 34	$33,7 \pm 0,03$ n = 36
ر	1a	34,7 ± 0,04* n = 34	34,8 ± 0,05 n = 35	34,4 ± 0,03 n = 36	33,8 ± 0,06 n = 34	32,9 ± 0,05 n = 34	33,3 ± 0,04 n = 33	33,9 ± 0,05 n = 34	33,9 ± 0,06 n = 35	34,8 ±0,03 n = 33	$36.8 \pm 0.03*$ n = 34
+	1	31,6 ± 0,04 n = 32	30,7 ± 0,06 n = 34	29,8 ± 0,4 n = 33	29,1 ± 0,1 n = 32	$29,9 \pm 0,1$ n = 35	28,7 ± 0,04* n = 34	28,1 ± 0,05 n = 33	28,4 ± 0,04* n = 34	28,9 ± 0,03 n = 31	$32,1 \pm 0,03$ n = 33
€	1a	33,6 ± 0,03* n = 33	$33,7 \pm 0,05$ n = 34	33,5 ± 0,03* n = 33	33,4 ± 0,05 n = 35	$33,0 \pm 0,05$ n = 35	$31,4 \pm 0,04*$ n = 33	$31,2 \pm 0,05$ n = 36	31,3 ± 0,06 n = 32	$31,9 \pm 0,03*$ n = 33	$33.8 \pm 0.03*$ $n = 36$
Σ	П	30,0 ± 0,06 n = 34	29,5 ± 0,06 n = 33	28,9 ± 0,03* n = 32	28,6 ± 0,1 n = 32	$28,5 \pm 0,1$ n = 33	$28,2 \pm 0,04$ n = 33	27,3 ± 0,05 n = 32	26,0 ± 0,04* n = 33	27,5 ± 0,03 n = 34	30,3 ± 0,03 n = 36
Ξ	1a	33,4 ± 0,04 n = 35	$33,5 \pm 0,05$ n = 34	33,1 ± 0,03* n = 33	32,9 ± 0,05 n = 33	$32,6 \pm 0,05$ n = 34	$31,3 \pm 0,04*$ n = 33	30,7 ± 0,05 n = 33	29,8 ± 0,06 n = 34	30,8 ± 0,03 n = 33	$32,6 \pm 0.03*$ $n = 35$

бури и в период бури было ниже: M (3.6 ± 0.03) $> \Phi (2.8 \pm 0.05) > X (2.0 \pm 0.04) > C 1.2 \pm$ 0.04 случая. Положительным явился тот факт. что в дни М-бурь частота приступов у них была такой, какой она характеризовалась у пациентов, принимавших препараты ААТ в «спокойные» дни. Такие же различия между «темпераментами» по частоте приступов получены в группах НТ-пациентов в указанные дни. Но их количество по сравнению с ВТ-лицами соответствующего темперамента было статистически значимо ниже $M > \Phi > C > X$: 2,6 ± 0,03 > 1,9 \pm 0,05 > 1,4 \pm 0,04 > 1,1 \pm 0,04 случая. В дни M-бурь M > Φ > C > X: 4,6 \pm 0,03 > 3,9 \pm 0,05 > $3.2 \pm 0.04 > 2.3 \pm 0.04$ случая. Однако на фоне использования схемы лечения ААТ + БЛОПСС число приступов оказалось ниже, чем на фоне ААТ-лечения. В «спокойные» от геомагнитных колебаний дни $M > \Phi > X > C$: 1,7 ± 0,03 > 1,4 $\pm 0.05 > 1.2 \pm 0.04 > 0.97 \pm 0.04$ случая загрудинных болей. В дни М-бурь $M - \Phi - X - C$: 3,7 $\pm 0.03 > 3.0 \pm 0.05 > 2.6 \pm 0.04 > 2.0 \pm 0.04$ случая.

Таким образом, у трудоспособных здоровых и страдающих ИБС (ФК-II + ГБ-I; НК_{л-1}) мужчин в сочетании с ГБ-І в условиях повышения напряженности магнитного поля Земли и мощности у-фона среды в период и за сутки (только у X) до М-бури происходят сдвиги в структурах тканевого дыхания, которые сопровождаются снижением утилизации кислорода тканями и разницы по содержанию кислорода в артериализованной и чисто венозной крови. «Задолженность» клеток тканей и миокарда, в том числе по кислороду, в период геомагнитных возмущений приводит к переходу организма на более напряженный (по увеличению МОК, МОД, ПО,), но энергетически менее выгодный (по снижению КУКТ и КИО₃) уровень функционирования. Одной из причин таких изменений могло стать снижение плотности мембран клеток. Это предположение основано на данных исследований, свидетельствующих, что в период повышения солнечной активности плотность эритроцитарных мембран снижается, а уровень внутрисосудистого гемолиза повышается [8]. Такие или подобные им сдвиги не могли не происходить в тканях организма исследованных нами больных ИБС. Возможны 2 основных патофизиологических механизма снижения утилизации кислорода тканями: а) уменьшение функциональной активности мембран эритроцитов и транспорта кислорода в эндотелиальные клетки и 2) снижение диссоциации оксигемоглобина. Такие механизмы инициируются влиянием активных форм кислорода, концентрация которых возрастает вследствие воздействия многих факторов, в нашем случае – у-фона окружающей

среды в годы активного Солнца. Известно, что у-излучение способствует диссоциации молекул воды на составляющие, рекомбинация которых и способствует образованию свободных биологически активных радикалов. Здесь также уместно заметить, что в условиях напряженного магнитного поля Земли интенсифицируется процесс перекисного окисления липидов (ПОЛ), изменяются функции мембран эритроцитов и эндотелия капилляров вследствие ускорения процесса ПОЛ [4, 17, 18]. Нельзя исключить, что снижение утилизации О, с одновременным повышением его содержания в оттекающей от тканей венозной крови является следствием роста ПОЛ и снижения утилизации О, в митохондриях. В условиях региона отмечен рост мощности у-фона среды за сутки до, в период и на 3-4-е сутки от начала М-бури. Возможно, эти изменения способствовали развитию каскада реакций ПОЛ. Это тем более вероятно, если учесть, что вторая «волна» подъема мощности у-фона среды развивается на фоне снижения напряженности магнитного поля Земли, на которую в эти дни в меньшей степени реагируют симпатотоники X и C, а в большей степени – парасимпатотоники Ф- и М-пациенты. Именно в эти дни у Ф и М отмечено снижение отрицательных значений вегетативного индекса Кердо (снижение тонуса парасимпатического отдела вегетативной нервной системы). Различия в содержании кислорода в артериализированной и чисто венозной крови обусловлены и психосоматическим статусом. Известно, что острый и хронический стресс, физиологическое и/или психологическое напряжение сочетаются не только с повышением свободнорадикального перекисного окисления липидов, но также снижением резервных возможностей организма [8]. Вероятно, указанные выше механизмы способствовали тому, что снижение КУКТ во все годы, особенно в годы высокой солнечной активности, в большей степени обусловлены процессом СПОЛ мембран клеток тканей и органов, включая эритроциты и эндотелиальные клетки кровеносных сосудов. Нельзя исключить, что у ВТ указанные процессы СПОЛ проходили активнее, а КУКТ был ниже по сравнению с НТ-лицами соответствующего темперамента. Это привело к снижению утилизации кислорода клетками тканей. Вместе с тем величина КУКТ на фоне терапии, направленной на купирование особенностей психосоматического статуса, оказалась выше, нежели на фоне эмпирического варианта лечения. Именно повышением утилизации кислорода тканями и связанного с этим снижением адаптивного напряжения можно объяснить снижение уровня осложнений. Особенности психосоматического статуса по темпераменту (гормональные, баланса симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, тревожности, депрессивности) лежат в основе временных различий ответной реакции в период геомагнитных возмущений – это очевидно,

если учесть, что на фоне лечения по схеме ААТ + БлОПСС выраженность физиологических сдвигов во все дни ниже, а утилизация кислорода тканями выше, чем на фоне проведения только антиангинальной терапии.

Выводы

- 1. В период ГМВ у трудоспособных больных ИБС (ФК-II, ГБ-I) мужчин наблюдали увеличение минутного объема кровотока, минутного объема дыхания и величины потребления кислорода, которые сочетались со снижением утилизации кислорода тканями (по величине использования кислорода и по коэффициенту утилизации кислорода тканями). Реакцию организма (по изученным показателям) у холериков отмечали за сутки и в 1-е сутки М-бури, у сангвиников в день ГМВ и на 2-е сутки, у флегматиков на 3–4-е, а у меланхоликов на 4–5-е сутки, что обусловлено различиями в психосоматическом статусе.
- 2. В период М-бури снижение утилизации кислорода тканями (по величине использования кислорода и по коэффициенту утилизации кислорода тканями) сочеталось с повышением мощности у-фона среды за сутки и в 1-е сутки ГМВ, а также на 3—4-е сутки от начала М-бури.
- 3. Выраженность изменений снижалась в последовательном ряду: меланхолики > флегматики > сангвиники > холерики. На фоне антиангинальной терапии с блокадой или без блокады особенностей психосоматического статуса у высокотревожных лиц снижение утилизации кислорода тканями было более выражено по сравнению с низкотревожными лицами соответствующего темперамента.
- 4. Лечение, направленное на коррекцию особенностей психосоматического статуса у обследованных больных, способствовало повышению уровня утилизации кислорода тканями (по величине использования кислорода и степени утилизации кислорода тканями), что сочеталось со снижением частоты приступов загрудинных болей.

Список литературы

1. Оганов Р.Г., Денисов И.Н., Симаненков В.И. и др. Коморбидная патология в клинической практике. Клинические рекомендации // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2017. Т. 16. № 6. С. 43–49.

Oganov R.G., Denisov I.N., Simanenkov V.I. et al. Comorbid pathology in clinical practice. Clinical guidelines // Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika. 2017. V. 16. N° 6. P. 43–49.

2. Акимова Е.В., Гакова Е.И., Пушкарев Г.С. и др. Риск сердечно-сосудистой смерти и социальное положение в Тюменской когорте: результаты 12-летнего

проспективного исследования // Кардиология. 2010. Т. 50. № 7. С. 43–49.

Akimova E.V., Gakova E.I., Pushkarev G.S. et al. The risk of cardiovascular mortality and social position in the Tyumen cohort: results of a 12-year prospective study // Kardiologiya. 2010. V. 50. \mathbb{N}° 7. P. 43–49.

3. Ощепкова Е.В. Смертность населения от сердечно-сосудистых заболеваний в Российской Федерации в 2001–21006 гг. и пути по ее снижению // Кардиология. 2009. Т. 49. № 2. С. 67–72.

Oshchepkova E.V. Mortality from cardiovascular diseases in the Russian Federation in 2001–2006 and ways for its reduction // Kardiologiya. 2009.V.49. №2. P. 67–72.

4. *Гурфинкель Ю.И*. Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность. М., 2004.

Gurfinkel Yu.I. Ischemic heart disease and solar activity. Moscow, 2004.

5. Сергеев А.В. Стойкие органические загрязнители и атеросклероз. Достаточно ли имеющихся фактов, чтобы сделать однозначные выводы? // Кардиология. 2010. Т. 50. \mathbb{N} 4. С. 50–54.

Sergeev A.V. Persistent organic pollutants and atherosclerosis. If you have enough facts to make definitive conclusions? // Kardiologiya. 2010. V. 50. № 4. P. 50–54.

6. Соколов Е.И., Лавренова Н.Ю., Голобородова И.В. Реакция симпатико-адреналовой системы у больных ишемической болезнью сердца при эмоциональном напряжении в зависимости от типа личности // Кардиология. 2009. Т. 49. № 12. С. 18–22.

Sokolov E.I., Lavrenova N.Yu., Goloborodova I.V. The reaction of the sympathetic-adrenal system in patients with ischemic heart disease during emotional stress depending on personality type // Kardiologiya. 2009. V. 49. № 12. P. 18–22.

7. Усенко Г.А., Васендин Д.В., Усенко А.Г., Шакирова Н.А. Взаимосвязь между гелиогеофизическими факторами и минутным объемом крови у больных артериальной гипертензией с различным темпераментом // Профилактическая и клиническая медицина. 2017. Т. 65. \mathbb{N} 4. С. 61–67.

Usenko G.A., Vasendin D.V., Usenko A.G., Shakirova N.A. The relationship between heliogeophysical factors and the minute blood volume in hypertensive patients with different temperament // Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina. 2017. V. 65. № 4. P. 61–67.

8. Усенко Г.А., Ставский Е.А., Васендин Д.В. Особенности течения артериальной гипертензии у мужчин в зависимости от темперамента, тревожнности, солнечной активности и лечения. Новосибирск, 2016.

Usenko G.A., Stavskiy E.A., Vasendin D.V. Features of the course of hypertension in men depending on temperament, anxiety, solar activity and treatment. Novosibirsk, 2016.

9. Чазова И.Е., Бойцов С.А., Небиеридзе Д.В. и др. Профилактика, диагностика и лечение артериальной гипертензии // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2004. Т. 3. № 4S1. С. 3–19.

Chazova I.E., Boytsov S.A., Nebieridze D.V. et al. Prevention, diagnosis and treatment of arterial hypertension // Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika. 2004. V. 3. № 4S1. P. 3–19.

10. Подзолков В.И., Перепеч Н.Б., Ощепкова Е.В. и др. Диагностика и лечение артериальной гипертензии. Российские рекомендации (третий пересмотр) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2008. Т. 7. № 6S2. С. 1—32.

Podzolkov V.I., Perepech N.B., Oschepkova E.V. et al. Diagnosis and treatment of hypertension. Russian recommendations (third revision) // Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika. 2008. V. 7. № 6S2. P. 1–32.

11. Вейн А.М., Вознесенская Т.Г., Голубев В.Л. Заболевания вегетативной нервной системы. М., 1991.

Vein A.M., Voznesenskaya T.G., Golubev V.L. Diseases of the autonomic nervous system. Moscow, 1991.

12. Кишкун А.А. Руководство по лабораторным методам диагностики. М., 2007.

Kishkun A.A. A manual of laboratory methods for diagnosis. Moscow, 2007.

13. *Ткаченко В.И*. Нормальная физиология человека. М., 2005.

Tkachenko V.I. Normal human physiology. Moscow, 2005.

14. *Столяренко Л.Д.* Опросник Айзенка по определению темперамента: Основы психологии. Ростов-на-Дону, 1997.

Stolyarenko L.D. Eysenck's enquirer on the definition of temperament. Principles of psychology. Rostov-on-Don, 1997.

15. *Ханин Ю.Л*. Исследование тревоги в спорте // Вопросы психологии. 1978. № 6. С. 94—106.

Khanin Yu.L. A study of anxiety in sport // Voprosy psikhologii. 1978. № 6. P. 94–106.

16. *Ахметжанов Э.Р.* Шкала депрессии. Психологические тесты. М., 1996.

Akhmetzhanov Je.R. Depression scale. Psychological tests. Moscow, 1996.

17. Загидуллин Н.Ш., Валеева К.Ф., Гассанов Ф., Загидуллин Ш.З. Значение дисфункции эндотелия при сердечно-сосудистых заболеваниях и методы ее медикаментозной коррекции // Кардиология. 2010. Т. 50. № 5. С. 54–60.

Zagidullin N.Sh., Valeeva K.F., Gassanov N., Zagidullin Sh.Z. The value of endothelial dysfunction in cardiovascular diseases and methods of its pharmacological correction // Kardiologiya. 2010. V. 50. Nº 5. P. 54–60.

18. Янковская Л.В., Зинчук В.В., Лис М.А. Кислородтранспортная функция крови и дисфункция эндотелия у больных со стенокардией и артериальной гипертензией // Кардиология. 2007. Т. 47. № 4. С. 22–27.

Yankovskaya L.V., Zinchuk V.V., Lis M.A. Oxygen-transport function of blood and endothelium dysfunction in patients with angina pectoris and hypertension // Kardiologiya. 2007. V. 47. № 4. P. 22–27.

Поступила 11.04.2019

TRENDS IN OXYGEN CONSUMPTION AND UTILIZATION IN PATIENTS WITH ISCHEMIC CARDIAC DISEASE ON THE DAYS OF MAGNETIC STORMS DEPENDING ON THEIR PSYCHOSOMATIC STATUS AND THERAPEUTIC TACTICS

Usenko G.A.¹, Vasendin D.V.², Usenko A.G.³, Shakirova N.A.⁴

 ${}^{\scriptscriptstyle 1}\textsc{Novosibirsk}$ State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

²Siberian State University of Geosystems and Technologies of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Novosibirsk

³Novosibirsk Regional Hospital № 2 of War Veterans ⁴West-Siberian Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Novosibirsk

The purpose of investigation was to assess reactivity to geomagnetic disturbances of oxygen consumption and utilization in male patients with the ischemic cardiac disease (ICD), effort angina (FC-II), and hypertension (S-I) differing in temperament and level of anxiety. Parameters

under study included sympathetic and parasympathetic nervous activity, cardiac output, serum levels of cortisol, insulin and aldosterone, and differences in oxygen content of the arterialized venous and pure venous blood. The superimposed epoch method used during magnetic storms (MS) revealed an increase in background gamma radiation. On these days the patients were noted to increase cardiac output, respiratory minute volume and oxygen consumption, and to decrease oxygen utilization by tissues. These body reactions developed on the eve and first MS day in choleric persons, at the onset and MS day 2 in sanguine persons, on MS days 3-4 in phlegmatic persons and on MS days 4-5 in melancholic persons. The reaction was particularly strong in the groups of phlegmatic and melancholic patients with high levels of anxiety and, therefore, they must be included in the group with the risk of ICD exasperation. Antianginal therapy and blockade reduced significantly the number of attacks and brought values of the coefficients of oxygen consumption and utilization nearer to those in healthy people with similar anxiety levels and temperament.

Key words: ischemic cardiac disease, magnetic storms, oxygen utilization.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. № 7. P. 91–99.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 612.084.4

ОСОБЕННОСТИ ВЕСТИБУЛОВЕГЕТАТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ У ЖЕНЩИН В РАЗЛИЧНЫЕ ФАЗЫ МЕНСТРУАЛЬНОГО ЦИКЛА В АСПЕКТЕ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Мацнев Э.И., Захарова Л.Н., Сигалева Е.Э.

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

E-mail: e.matsnev@mail.ru

Целью работы являлся ретроспективный анализ данных по оценке переносимости экспериментальной болезни движения (БД) у 15 здоровых женщин-волонтеров в возрасте от 25 до 37 лет (средний возраст 31 ± 6 лет) в различные фазы менструального цикла. Экспериментальная БД моделировалась посредством непрерывного кумулятивного воздействия кориолисовых (прецессионных) ускорений на 1-2-е сутки периода menses и на 7-10-е сутки после завершения menses. Проведенные исследования позволили выявить тенденцию к снижению вестибулярной устойчивости у отдельных женщин в период менструального цикла. Возможное снижение вестибуловегетативной устойчивости у отдельных женщин на фоне menses необходимо учитывать при медицинском обеспечении пилотируемых полетов на Международную космическую станцию и будущих межпланетных пилотируемых космических полетов на Луну и Марс с участием женщин-астронавтов в составе экипажа.

Ключевые слова: космическая болезнь движения, вестибуловегетативная устойчивость, менструальный цикл. Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-100-103

T. 53. № 7. C. 100-103.

Развитие пилотируемой космонавтики и интернационального сотрудничества на Международной космической станции (МКС) способствовало возможности осуществления космических полетов не только мужчинами-космонавтами, но и женщинами. К настоящему времени общее число женщин-астронавтов из разных стран мира, принявших участие в пилотируемых космических полетах, в том числе на борту МКС, достигло 62 человек (Википедия, 24.01.2019) [1].

Известно, что половые различия между астронавтами мужского и женского пола, связанные с неврологическими, нейрофизиологическими и гормональными особенностями их организма, могут иметь существенное влияние на переносимость ими различных этапов космического полета [2–6]. В первую очередь это относится к раннему периоду

адаптации космонавтов к невесомости, а также к периоду послеполетной реадаптации, сопряженных с развитием симптомокомплекса вестибуловегетативных и сенсорных расстройств, обозначенных в литературе как «космическая болезнь движения» (КБД).

На основе анализа реализованных к настоящему времени пилотируемых космических полетов специалисты пришли к неоднозначным выводам относительно половых различий в частоте развития КБД на раннем этапе адаптации космонавтов к невесомости. Так, по данным авторов работы [4], проявления КБД на этом этапе полета чаще регистрируются у астронавтов-женщин, чем у мужчин (у 50 % женщин, против 38 % у мужчин). Вместе с тем в лабораторных исследованиях не было получено доказательств существенного различия в подверженности к болезни движения, моделируемой в лабораторных условиях у волонтеров мужского и женского пола [5-7]. В аспекте обсуждаемой проблемы особый интерес могут представлять сведения о переносимости женщинами вестибулярных нагрузок в различные фазы менструального цикла, что может иметь важное практическое значение в медицинском обеспечении текущих и перспективных пилотируемых космических полетов.

Цель работы – ретроспективный анализ данных по оценке переносимости экспериментальной болезни движения у здоровых женщин в различные фазы менструального цикла.

Методика

Объектом исследования являлись 15 здоровых женщин-волонтеров в возрасте от 25 до 37 лет (средний возраст 31 ± 6 лет) в 2 сериях исследований. Все женщины-волонтеры подписали Информированное согласие на участие в настоящих экспериментальных исследованиях согласно Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации [8].

В 1-й серии исследований проводилась оценка переносимости экспериментальной болезни движения (БД) у женщин в межменструальный период; во 2-й серии — в период менструации (menses).

Экспериментальная БД моделировалась посредством непрерывного кумулятивного воздействия кориолисовых (прецессионных) ускорений (НКУК) по методу авторов работы [9], условно обозначенного как Кориолис-тест. Исследования проводились на российском вестибулометрическом стенде ВУ-4М [10] при угловой скорости вращения кресла, равной 180 град/с, в различные фазы менструального цикла по схеме: фоновое тестирование, исследование на 1–2-е сутки периода menses, исследование на 7–10-е сутки после ее завершения.

До, во время и после Кориолис-теста оценивали: время переносимости данной пробы, степень и выраженность вестибуловегетативных реакций (ВВР) и вестибулосенсорных реакций (ВСР), регистрировали частоту сердечных сокращений (ЧСС) и артериальное давление (АД) по методу Короткова. Оценка степени выраженности ВВР и ВСР при развитии экспериментальной БД проводилась на основе диагностической шкалы, разработанной авторами работ [2, 3].

Полученные цифровые данные были подвергнуты статистической обработке с использованием программы Statistica 12.5 (StatSoft, Oklahoma, USA). Для проверки нормальности распределения данных использовался критерий Колмогорова — Смирнова. Распределение считалось нормальным при уровне статистической значимости критерия выше 0,05. Для определения достоверности различий средних значений в выборках использовался t-критерий Стьюдента. Порогом статистической значимости было выбрано значение $p \le 0,05$.

В данной статье представлен анализ 60 вестибулометрических исследований, проведенных за 4-летний период наблюдения.

Результаты и обсуждение

В 1-й серии исследований у 14 из 15 обследованных женщин средняя переносимость 10-минутного

стандартного Кориолис-теста (вне фазы menses) составляла: 10.0 ± 0 мин, с BBP (0.2 ± 0.19 балла) (таблица). Лишь у 1 обследуемой были отмечены умеренно-выраженные вестибуловегетативные (2.0 балла) и иллюзорные расстройства (1.0 балл), по типу «килевой качки».

Во 2-й серии исследований (на фоне menses) только 9 из 15 женщин перенесли 10-минутный Кориолис-тест без вегетативных и сенсорных нарушений (см. табл.). У остальных 6 женщин в этот период была отмечена тенденция к снижению переносимости Кориолис-теста. Среднее время переносимости этого теста у женщин в периоде menses составляло: 9.7 ± 0.29 мин, с BBP (1.2 ± 0.8) балла и BCP (1.0 ± 0.2) балла) соответственно.

У 1 женщины из последней группы были зарегистрированы выраженные (до 12 баллов) ВВР, что явилось показанием к досрочному прекращению данного теста.

Вместе с тем следует отметить, что, несмотря на выявленную тенденцию к снижению переносимости Кориолис-теста у женщин в периоде menses, достоверных различий средних значений выборок в 1-й и 2-й экспериментальных сериях исследований выявлено не было (р > 0,05). Отсутствие статистически значимых различий при наличии тенденции к снижению переносимости вестибулометрической пробы может являться следствием относительно небольшого размера выборки. В этой связи представляется необходимым дельнейшее накопление экспериментальных данных по этому направлению исследований.

Проведенные исследования позволили выявить тенденцию к снижению вестибулярной устойчивости у отдельных женщин в период менструального цикла. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами недавно опубликованных экспериментальных исследований по данной проблеме на животных [11, 12]. В исследованиях авторов работы [11] на крысах были получены доказательства того, что в период «течки» (менструального цикла у животных) под влиянием циркуляции 17β-эстрадиола (эстрадиол Е2) изменяется активность синаптической

Таблица

Переносимость вестибулометрической пробы НКУК у 15 женщин-волонтеров в различные фазы менструального цикла

Фаза менструального	Переносимость	BBP,	чсс,	чд,	А, мм р	**
цикла	пробы НКУК, мин	баллы	уд./мин	число/мин	Макс.	Мин.
Вне фазы menses	10,0 ± 0	0,2 ± 0,19	76,0 ± 3,46	15,7 ± 0,47	107,4 ± ,97	68,0 ± 0,66
На фоне menses	9,7 ± 0,29 (p > 0,05)	1,2 ± 0,8	81,7 ± 2,73	16,3 ± 0,57	102,3 ± 2,41	64,3 ± 1,39

Примечание. НКУК – непрерывная кумуляция ускорений Кориолиса; ВВР – вестибуловегетативные реакции; ЧСС – частота сердечных сокращений; ЧД – частота дыхания; АД – артериальное давление по Короткову.

передачи в медиальных вестибулярных ядрах. В развитие этих исследований авторы работы [12] показали, что нейростероид 17β оказывает влияние на адаптацию вестибулоокулярного рефлекса (ВОР) через регуляцию синаптической активности путем воздействия на нейропластичность мозжечка на уровне синапсов параллельных волокон и клеток Пуркинье [12]. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что эстрадиол Е2 может регулировать адаптацию ВОР, воздействуя на синаптическую пластичность на мозжечковом и немозжечковом уровнях [11].

Результаты собственных исследований демонстрируют наличие взаимосвязи вестибулярной устойчивости и менструального цикла у отдельных женщин, что не исключает возможности развития болезни движения у них в этот период. Взаимосвязь подверженности болезни движения и фазы менструального цикла нашла подтверждение в практике пилотируемых космических полетов с участием женщин [7].

Факт возможного снижения вестибуловегетативной устойчивости у отдельных женщин в период menses необходимо учитывать при реализации пилотируемых полетов на МКС, а также перспективных межпланетных космических полетов на Луну и Марс с участием женщин-астронавтов в составе экипажа [10].

Выводы

- 1. У 15 здоровых женщин-волонтеров в возрасте от 25 до 37 лет средняя переносимость стандартного 10-минутного Кориолис-теста в фоновом и межменструальном периоде составила $10,0\pm0$ мин, с вестибуловегетативными $(0,2\pm0,19$ балла) и сенсорными $(1,0\pm0$ балла) реакциями.
- 2. При вестибулометрическом обследовании на фоне menses у 6 из 15 женщин отмечено снижение переносимости Кориолис-теста с развитием вестибуловегетативных (1,2 \pm 0,8 балла) и сенсорных (1,1 \pm 0,2 балла) реакций. У одной женщины исследование было досрочно прекращено из-за крайней степени выраженности вестибуловегетативных и сенсорных реакций (12 и 6 баллов соответственно).
- 3. Выявленная тенденция к снижению вестибулярной устойчивости у отдельных женщин в период menses согласуется с результатами экспериментальных исследований на животных, демонстрирующих изменение уровня нейростероида 17β-эстрадиола, активно участвующего в синаптической передаче сигналов в медиальных вестибулярных ядрах и мозжечке в фазу менструального цикла.
- 4. Возможное снижение вестибуловегетативной устойчивости у отдельных женщин на фоне menses необходимо учитывать при медицинском обеспечении пилотируемых полетов на МКС и будущих межпланетных пилотируемых космических полетов на Луну и Марс с участием женщин-астронавтов в составе экипажа.

Работа выполнена в рамках базовой темы РАН № 64.1.

Список литературы

- 1. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/.
- 2. Graybiel A., Wood S.D., Miller E.F., Cramer D.B. Diagnostic criteria for grading the severity of acute motion sickness // Aerospace Med. 1968. May. P. 453–455.
- 3. *Harm D.L.* Physiology of motion sickness symptoms // Motion and space sickness / G.H. Crampton, ed. Boca Raton: Fl. CRC Press. Inc., 1990. P. 153–177.
- 4. *Mark S., Graham B.I. Scott., G.B.I. et al.* The impact of sex and gender on adaptation to space: Executive Summary // J. of Women's Health (Larchmt). 2014. Nov. 1; V. 23. № 11. P. 941–947.
- 5. Reschke M.F. Statistical prediction of space motion sickness // Motion and space sickness / G.H. Crampton, ed. Boca Raton, Fl: CRC Press., Inc., 1990. P. 263–316.
- 6. Reschke M.F., Cohen H.S., Cerisano J. et al. Effects of sex and gender on adaptation to space: neurosensory systems // J. Women's Health (Larchmt). 2014. Nov 1; V. 23. № 11. P. 959–962.
- 7. Ronca A.E., Baker E.S., Bavendam T.G. et al. Effects of sex and gender on adaptations to space: reproductive health // Ibid. P. 967–974.
- 8. World Medical Association. Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects // JAMA. 2013. V. 310. № 20. P. 2191–2194.
- 9. *Маркарян С.С., Юганов Е.М., Сидельников И.А.* Вестибулярный отбор методом непрерывной кумуляции ускорений Кориолиса (НКУК) // Воен.-мед. журнал. 1966. № 9. С. 59–62.

Markaryan S.S., Yuganov E.M., Sidel'nikov I.A. Vestibular selection by continuous cumulation of Coriolis accelerations // Voenno-meditsinskiy zhurnaL. 1966. No 9. P. 59–62.

10. Мацнев Э.И., Сигалева Е.Э., Ефимова Л.Г., Зайченко Б.С. Современные проблемы оториноларингологии в космической медицине // К.Э. Циолковский и этапы развития космонавтики: Матер. 50-х научных чтений памяти К.Э. Циолковского. 2015. С. 177–179.

Matsnev E.I., Sigaleva E.E., Efimova L.G., Zaychenko B.S. Modern ENT-problems in space medicine // K.E. Tziolkovsky and stages of cosmonautic development: Proc. of 50th Readings devoted to K.E. Tziolkovsky memory. 2015. P. 177–179.

- 11. *Grassi S., Frondaroli A., Scardusio M. et al.* Influence of sex and estrous cycle on synaptic responses of the medial vestibular nuclei in rats: role of circulating 17-beta-estradiol // Brain Res. 2012. V. 87. P. 319–327.
- 12. *Dieni C.V., Ferraresi A., Sullivan J. et al.* Acute inhibition of estradiol synthesis impacts vestibulo-ocular reflex adaptation and cerebellar long-term potentiation in male rats // Brain Struct. Funct. 2018. V. 223. P. 837–850.

Поступила 16.04.2019

CHARACTERISTICS OF FEMALE VESTIBULO-AUTONOMIC STABILITY IN DIFFERENT PHASES OF THE MENSTRUAL CYCLE IN THE ASPECT OF PILOTED SPACE MISSIONS

Matsnev E.I., Zakharova L.N., Sigaleva E.A.

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

The goal was to analyze retrospectively the data about tolerance of experimental motion sickness (MS) by 15 normal female subjects (25 to 37 y.o., mean age 31 \pm 6 yrs.) in

different phases of the menstrual cycle. Motion sickness was modeled by continuous cumulative Coriolis (precession) accelerations on menses days 1-2 and in 7-10 days after menses. The analysis revealed a tendency for vestibular tolerance detriment in several females during the menstrual cycle. Probability of the detriment of vestibular-autonomic tolerance because of the menses should be taken into account in the medical support system of mixed crews to the ISS and future exploration missions to the Moon and Mars.

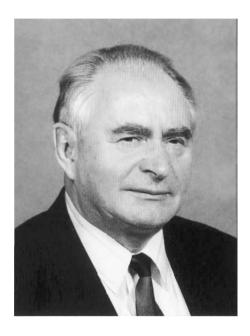
Key words: space motion sickness, vestibular-autonomic tolerance, menstrual cycle.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. Nº 7. P. 100–103.

Н.А. РАЗСОЛОВ — ВРАЧ, ПЕДАГОГ, УЧЕНЫЙ. К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ

Крапивницкая Т.А., Крапивницкая Л.В.

Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования МЗ РФ, кафедра авиационной и космической медицины, Москва



Николай Александрович Разсолов являлся выдающимся педагогом, видным ученым в области авиационной и космической медицины, доктором медицинских наук, профессором кафедры авиационной и космической медицины Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования МЗ РФ.

Н.А. Разсолов родился 16 ноября 1929 г. в г. Каргополь Архангельской области. После окончания Архангельского медицинского государственного института работал в Восточно-Сибирском управлении гражданской авиации в должности начальника профилактория летного состава в аэропортах Сангары и Якутска, а с 1955 по 1971 г. — начальником медико-санитарной службы Якутского управления граж-данской авиации. В дальнейшем, в течение двух лет (1972, 1973 г.) был начальником медсанчасти аэропорта Быково.

С 1961 по 1965 г. проходил учебу в заочной аспирантуре на кафедре авиационной медицины ЦИУв под научным руководством одного из основоположников отечественной авиационной медицины Г.Л. Комендантова. По окончании аспирантуры успешно защитил кандидатскую диссертацию.

В 1973 г. Н.А. Разсолов был избран на должность доцента кафедры авиационной медицины. Под его руководством была разработана и внедрена в педагогический процесс типовая программа подготовки

авиационного врача. Был создан новый курс авиационной медицины — авиационная медицинская авариология, разработаны и внедрены в педагогический процесс новые темы: «Научная организация работы врача летного отряда», «Медицинские проблемы безопасности полетов», «Основные принципы врачебно-летной экспертизы», «Физиологическое обоснование барокамерных методов обследования», «Проблема стресса и адаптации в авиационной медицине», «Проблема биологических ритмов в авиационной медицине» и др. Им была разработана методика расследования летных происшествий (по специально разработанным легендам).

В 1980 г. Н.А. Разсолов успешно защитил докторскую диссертацию на тему «Патогенез болезни движения и ее профилактика». С 1983 по 2010 г. он возглавлял кафедру авиационной и космической медицины. В этот период бережно сохранялось педагогическое и научное наследие, созданное Г.Л. Комендантовым. На кафедре сформировалось клиническое и космическое направление.

С 2010 г. Николай Александрович продолжал педагогическую и научную работу на кафедре, успешно внедрял в педагогический процесс концепцию человеческого фактора и управления безопасностью полетов. В Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского (РАКЦ) руководил отделением врачебно-летной экспертизы, являлся действительным членом РАКЦ, заслуженным работником высшей школы.

Н.А. Разсолова длительное время входил в редакционную коллегию научного периодического журнала «Авиакосмическая и экологическая медицина».

Автор и соавтор свыше 300 научных трудов. Под его руководством подготовлено и защищено более 20 диссертаций, опубликовано «Руководство по авиационной медицине для врачей гражданской авиации» (1985), «Руководство по авиационной медицине» (1999, 2006).

Заслуги в области авиационной и космической медицины были высоко оценены Министерством здравоохранения СССР, Минтранспортом России присвоением ему почетных званий, многочисленных наград и именных знаков.

Н.А. Разсолов навсегда сохранится в памяти его многочисленных учеников и специалистов по авиационной и космической медицине.