

АВИАКОСМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

AVIAKOSMICHESKAYA I EKOLOGICHESKAYA MEDITSINA

НАУЧНЫЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC PERIODIC JOURNAL

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Орлов О.И., д.м.н., академик РАН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ардашев В.Н., д.м.н., профессор
Баранов В.М., д.м.н., профессор, академик РАН
Буравкова Л.Б., д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН
Бухтияров И.В., д.м.н., профессор
Виноградова О.Л., д.б.н., профессор
Дьяченко А.И., д.т.н., профессор
Ерофеева Л.М., д.б.н., профессор
Иванов И.В., д.м.н., профессор
Ильин Е.А., д.м.н., профессор – заместитель главного редактора
Котов О.В., к.м.н.
Красавин Е.А., к.м.н., д.б.н., профессор, член-корреспондент РАН
Меденков А.А., к.психол.н., д.м.н., профессор
Синяк Ю.Е., к.х.н., д.т.н., профессор
Сорокин О.Г., к.м.н.
Суворов А.В., д.м.н., профессор
Усов В.М., д.м.н., профессор
Хоменко М.Н., д.м.н., профессор
Mukai Ch., M.D., Ph.D. (Japan)
Sutton J., M.D., Ph.D. (USA)
Suchet L.G., Ph.D. (France)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

2017 Т. 51 № 5

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 1967 ГОДУ

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

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

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

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

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

© Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, 2017
© State Research Center RF – Institute of Biomedical Problems Russian Academy of Sciences, 2017

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

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

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

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

Сдано в набор 02.10.2017
Подписано в печать 16.10.2017
Формат 60 × 84 1/8
Гарнитура Таhoma
Печать офсетная
Усл. печ. л. 8,60
Тираж 200 экз
Заказ № ...

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

Содержание

Contents

Обзоры

Reviews

Котовская А.Р. Переносимость человеком перегрузок в космических полетах и искусственная гравитация

5 *Kotovskaya A.R.* Human tolerance of G-loads in space missions and artificial gravity

Экспериментальные и общетеоретические исследования

Experimental and Theoretical Investigations

Виноходова А.Г., Гушин В.И., Юсупова А.К., Зюдфелд П., Джонсон Ф.Дж. Ретроспективный анализ межличностного восприятия и ценностей опытных космонавтов – участников международных полетов на орбитальных станциях «Мир» и МКС

22 *Vinokhodova A.G., Gushchin V.I., Yusupova A.K., Suedfeld P., Johnson Ph.J.* Retrospective analysis of interpersonal perception and values of experienced cosmonauts – members of multinational missions to the orbital stations «Mir» and the ISS

Ковалёв В.С., Мануковский Н.С., Тихомиров А.А., Хун Лю, Юймин Фу Моделирование суточного набора продуктов для использования в биорегенеративной системе жизнеобеспечения на лунной базе

31 *Kovalev V.S., Manukovsky N.S., Tikhomirov A.A., Liu Hong, Fu Yuming* Modeling of the daily food basket for inclusion in a bioregenerative life support system in a lunar outpost

Степанова Г.П., Давыдов Б.В., Кривицина З.А., Степанова К.Ю., Дегтеренкова Н.В., Пасекова О.Б. Показатели энергетического и минерального обмена крови при велоэргометрии у нетренированных мужчин и тренированных тяжелоатлетов

36 *Stepanova G.P., Davydov B.V., Krivitsyna Z.A., Stepanova K.Yu., Degterenkova N.V., Pasekova O.B.* Blood indices of energy metabolism and mineral turnover during bicycle ergometry of untrained men and trained weightlifters

Баранцева М.Ю., Клочкова С.В., Алексеева Н.Т., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А., Кварацхелия А.Г., Мухамедиева Л.Н. Анатомо-морфологические характеристики групповых лимфоидных узелков тонкой кишки мышей при моделирующем межпланетные полеты воздействию ионизирующей радиации

40 *Barantseva M.Yu., Klochkova S.V., Alekseeva N.T., Nikitiuk D.B., Tutelian V.A., Kvaratskheliya A.G., Mukhamedieva L.N.* Anatomical and morphologic characteristics of group lymphoid nodes in the small bowel of mice after an exposure to ionizing radiation modeling interplanetary missions

Сальников Н.А., Бобе Л.С., Кочетков А.А., Сinyaк Ю.Е. Регенерация санитарно-гигиенической воды на перспективных космических станциях

47 *Salnikov N.A., Bobe L.S., Kochetkov A.A., Sinyak Yu.E.* Regeneration of sanitary/hygienic water onboard future space stations

Гурьева Т.С., Дадашева О.А., Ездакова М.И., Спасский А.В., Лебедев В.М., Труханов К.А., Медникова Е.И., Грушина О.А. Исследование влияния пониженного магнитного поля Земли и его сочетания с низкочастотным магнитным полем на эмбриональное развитие японского перепела

55 *Gurieva T.S., Dadasheva O.A., Ezdakova M.I., Spasskiy A.V., Lebedev V.M., Trukhanov K.A., Mednikova E.I., Grushina O.A.* Study of the effect of a weakened geomagnetic field and its combination with a low-frequency magnetic field on the embryonic development of Japanese quails

Кварацхелия А.Г., Клочкова С.В., Алексеева Н.Т., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Мухамедиева Л.Н. Морфологические изменения брыжеечных лимфатических узлов у мышей в реабилитационном периоде после длительного сочетанного радиационно-химического воздействия

63

Kvaratskheliya A.G., Klochkova S.V., Alekseeva N.T., Tutelian V.A., Nikitiuk D.B., Mukhamedieva L.N. Morphologic changes in mesenteric lymph nodes of mice in the period of rehabilitation after completion of prolonged combined radiation and chemical exposure

Методики

Methods

Соловьева З.О., Скедина М.А., Ильин В.К. Применение цитоцентрифуги при подготовке микробных мазков для автоматизированного анализа изображений микробных клеток

70

Solovieva Z.O., Skedina M.A., Ilyin V.K. Use of cytocentrifuge to prepare microbial smears for automated analysis of microbial cell images

ОБЗОРЫ

УДК 613.6:629.786+57.084.5

ПЕРЕНОСИМОСТЬ ЧЕЛОВЕКОМ ПЕРЕГРУЗОК В КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ И ИСКУССТВЕННАЯ ГРАВИТАЦИЯ

Котовская А.Р.

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

E-mail: kotovskaia@imbp.ru

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-5-5-21



Котовская Адиля Равгатовна – заведующая лабораторией Государственного научного центра РФ – Института медико-биологических проблем РАН, доктор медицинских наук, профессор, действительный член Международной академии астронавтики, специалист в области гравитационной физиологии и медицины.

Является одним из основоположников отечественной космической биологии и медицины. Принимала непосредственное участие в исследованиях при подготовке первого полета животного (Лайки) на 2-м искусственном спутнике Земли, биологических экспериментах на кораблях-спутниках. Адиля Равгатовна проводила отбор и

подготовку первого космонавта – Ю.А. Гагарина и последующих космонавтов для полетов на космических кораблях «Восток», «Восход», «Союз».

Ветеран Великой Отечественной войны, награждена двумя орденами Трудового Красного Знамени, другими отечественными и зарубежными орденами и медалями, почетный гражданин г. Тулузы.

Редколлегия журнала сердечно поздравляет Адилю Равгатовну с 90-летием со дня рождения и желает ей доброго здоровья и творческого долголетия.

Общие сведения об изучении действия перегрузок на организм человека

В течение многих десятилетий проблема влияния перегрузок на организм человека находится в центре внимания специалистов по авиационной и космической медицине. Этой проблеме посвящено огромное количество исследований с целью изучения характера и степени выраженности реакций со стороны разных жизненно важных систем организма при различных параметрах перегрузок, установления порогов переносимости, выявления основных механизмов расстройств, вызываемых действием перегрузок, а также разработке средств и методов повышения устойчивости организма человека к их воздействию. По всем этим вопросам накоплен большой материал, который опубликован в разных книгах [1, 2] или больших разделах, посвященных полетам на пилотируемых космических кораблях (КК) и орбитальной станции (ОС) «Мир» и Международной космической станции (МКС), а также в совместных советско-американском (1975) и российско-американском (1997) изданиях по космической биологии и медицине [3, 4].

Создание пилотируемых КК потребовало всестороннего изучения влияния на организм различных факторов космического полета (КП). Среди этих факторов существенное значение имеют перегрузки (ускорения), сопровождающие любой КП.

Перегрузки являются специфическим и неотъемлемым фактором, предъявляющим организму человека повышенные требования. Поэтому сохранение хорошего состояния здоровья, высокой работоспособности и надежности каждого космонавта при выведении КК на орбиту и особенно при возвращении на Землю после предшествующего пребывания в невесомости является главной задачей медицинского обеспечения каждого КП.

Подготовка к первому полету человека в космос

Первому полету человека в космос предшествовала подготовительная научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа на Земле.

Биологические эксперименты с собаками доказали возможность не только длительного пребывания в невесомости, но и успешного возвращения на Землю. Период 1958–1960 гг. – это время особой значимости, так как в Институте авиационной медицины Министерства обороны СССР, который позже получил название Государственный научно-исследовательский испытательный институт авиационной и космической медицины (ГНИИАИКМ), началась подготовка к первому полету человека в космос. Одновременно проводилась работа с людьми и эксперименты с животными. Предстояло решить новые и трудные задачи: определить для будущих космонавтов оптимальную позу в кресле применительно к действию перегрузок при выведении корабля на орбиту и спуске на Землю. Кроме того, необходимо было разработать систему медицинского отбора человека для полета в космос, а также систему подготовки человека к первому космическому полету. Отбор и подготовка человека к КП и сейчас непростая проблема. Подготовить же человека к первому полету было неизмеримо сложнее, так как не существовало готовых схем и рецептов, а предыдущий опыт авиационной медицины был хотя и полезен, но явно недостаточен. Для полетов в космос необходим был крайне строгий и научно обоснованный отбор людей для еще несуществующей профессии.

Выполнение подготовительных исследований являлось ключевым положением, так как к приезду первых кандидатов в космонавты в Москву должны были быть решены принципы построения схем, режимов, критериев оценки состояния здоровья и переносимости факторов, с которыми может встретиться человек в КП, и другие немаловажные вопросы отбора и подготовки к первому полету человека в космос. Оглядываясь назад в то время, следует признать, что была некоторая перестраховка. Но она была оправдана, потому что только так можно отобрать совершенно безупречно здоровых людей. К отбору для первых КП были допущены только летчики, имевшие опыт пилотирования

современных реактивных самолетов. Связано это с тем, что требования к профессии космонавта оказались наиболее близкими к требованиям профессии летчика истребительной авиации. По медицинским и летным книжкам из более чем 3 тысяч человек были выбраны подходящие кандидаты и отобраны в первую группу, как теперь говорят, в группу «гагаринского набора», только 20 человек. В процессе отбора, а затем и подготовки к первому полету кандидаты в космонавты подвергались почти всем воздействиям, которые могли их ждать в полете (вибрации, перегрузки, гипоксия, повышенная температура, изоляция, катапультирование и т.д.).

Необходимо подчеркнуть, что в основу отбора и подготовки первых космонавтов было заложено следующее требование С.П. Королева: «...к моменту старта космического корабля в его кабине должен находиться пилот, способный выполнить куда более сложный полет, чем тот, который ему предстоит».

В Институте авиационной медицины и Центральном научно-исследовательском авиационном госпитале Министерства обороны СССР (ЦНИАГ) находились одинаковые трофейные центрифуги, вывезенные из Германии после окончания Великой Отечественной войны. Стараниями инженерно-технического персонала института одна центрифуга была «усилена» и усовершенствована, чтобы обеспечить нужную позу человека в кресле центрифуги, а также безопасность испытуемых и персонала при воздействии перегрузок значительно больших величин, чем обычно требовалось врачам госпиталя для медицинской экспертизы переносимости продольных перегрузок летного состава авиации.

В соответствии с общими принципами отбора людей для новой профессии космонавта медицинское обследование появившихся в начале 1960 г. первых 20 человек проводилось по правилу «от простого к сложному» или «от легкого к тяжелому». Это означало, что вначале выполнялось общеклиническое обследование здоровья человека, а затем определялся «запас прочности» и резервные возможности его организма при предъявлении различных функциональных проб и испытаний на специальных стендах, имитирующих действие различных факторов полета. Допуск к испытаниям на центрифуге по своей очередности был последним. Поэтому только летом 1960 г. на центрифуге появились первые кандидаты в космонавты, среди которых был и Юрий Гагарин.

Предстояло решить трудные задачи: определить устойчивость к перегрузкам, отобрать наиболее устойчивых к их воздействию, провести подготовку и тренировку к действию перегрузок, которые ждут космонавтов на участке выведения корабля «Восток» на орбиту и при его спуске на Землю.

Первые отечественные исследования по переносимости человеком перегрузок на Земле

В нашей стране в связи с отбором и подготовкой человека для первого полета в космос экспериментальные исследования при действии перегрузок начались в 1958 г. на центрифуге (ЦФ) радиусом 3,6 м, которая располагалась на базе ЦНИАГ.

Основные вопросы, связанные с действием перегрузок при полете в космос, необходимо было решить на ЦФ в возможно короткие сроки с участием испытателей, еще до появления первых кандидатов в космонавты. И эти исследования были выполнены. В результате были решены принципы построения программы разных режимов действия перегрузок, определены изменения основных физиологических систем организма, а также критерии оценки переносимости человеком перегрузок. В период с лета до осени 1960 г. на той же ЦФ военного авиационного госпиталя был осуществлен отбор к действию перегрузок первых кандидатов в космонавты. Это были 20 здоровых мужчин в возрасте 25–30 лет, которые подвергались на ЦФ воздействию поперечных перегрузок направления «грудь – спина» (+G_x) в кресле космонавта с углом наклона спинки кресла 65° от вектора ускорений. Все 20 человек подвергались воздействию перегрузок 7 ед. – 3 мин, 9 ед. – 3 мин и 10 ед. – 3 мин, а также 6 человек (из 20) – перегрузкам 12 ед. в течение 30 с. Цикл вращений на ЦФ завершался определением переносимости космонавтами перегрузок применительно к участкам выведения КК «Восток» на орбиту и спуску его на Землю. До и после каждого испытания на ЦФ проводился тщательный клинический осмотр. Переносимость упомянутых режимов перегрузок в ходе вращения лимитировали такие показатели, как зрительные нарушения в виде «серой» или «черной пелены», увеличение времени реакции на предъявляемые сигналы до 0,8–1,0 с, что являлось предвестником обморока, различные нарушения сердечного ритма в виде появления на ЭКГ множественных одиночных, множественных политопных экстрасистол, снижение артериального давления до 40 мм рт. ст. в сосудах мочки уха или снижение уровня плетизмограммы в сосудах мочки уха до 25 % и ниже от фоновых величин, снижение остроты зрения и сильные болевые ощущения за грудиной на фоне затруднения дыхания, а также резко выраженные вестибуловегетативные явления в последствии.

Анализ объективных физиологических данных, субъективные ощущения человека при действии перегрузок и медицинская оценка общего состояния каждого человека после окончания действия перегрузок на ЦФ позволили распределить их по переносимости перегрузок на 3 группы: лиц с хорошей, удовлетворительной и плохой устойчивостью

к действию перегрузок упомянутых режимов. Кроме того, очень важными оказались результаты клинических анализов крови и мочи, а также обследования органов малого таза (состояние простаты). В конечном итоге по медицинским показаниям 2 человека были отчислены из первой группы кандидатов в космонавты и отстранены от дальнейших исследований.

Таким образом, первые кандидаты в космонавты подвергались на ЦФ большим по величине и длительности перегрузкам. Величины и режимы перегрузок были получены из ОКБ-1, которым руководил С.П. Королев. Величины перегрузок 9 и 10 ед. соответствовали штатному режиму перегрузок на спуске корабля «Восток» на Землю, а перегрузка величиной 12 ед. – баллистическому спуску. Работы на ЦФ проводились в условиях строжайшей секретности, а первые краткие результаты были опубликованы только в 1962 г. [5].

Самым важным для исполнителей этих работ явился очевидный факт, что поза человека в кресле космонавта корабля «Восток» не является оптимальной с точки зрения переносимости перегрузок «грудь – спина». Поэтому после окончания КП Ю.А. Гагарина и Г.С. Титова осенью 1961 г. на той же ЦФ специалистами ГНИИАиКМ и авиационного госпиталя с участием 6 испытателей была проведена экспериментальная работа, специально посвященная определению оптимальной позы человека в кресле космонавта при действии поперечных перегрузок (+G_x). Экспериментальные исследования выполнялись при разных углах наклона спинки кресла относительно вектора ускорений: 70, 80 и 90°. При выборе оптимального положения тела в кресле космонавта руководствовались результатами испытаний, которые свидетельствовали о максимальном уменьшении тех нарушений, которые были выявлены при позе человека в кресле под углом наклона спинки кресла 65° от вектора ускорений. Результаты исследований при угле 70° мало отличались от результатов, полученных ранее при позе 65° от вектора ускорений. При позе 90° за грудиные боли и диспноэ не позволяли использовать эту позу. Полученные нами результаты свидетельствовали о том, что оптимальной позой для человека в кресле космонавта следует считать положение тела при наклоне спинки кресла на 78–80° от вектора ускорений и поднятыми на уровень глаз коленями, что представляло собой наилучший компромисс для перегрузок направления +G_x («грудь – спина»). Различия в переносимости перегрузок в кресле с углом 65 и 80° от вектора ускорений определялось тем, что составляющая перегрузок «голова – таз» в первом случае составляла 40 %, а во втором – 18–20 %.

Впервые в этой позе находились космонавты на КК «Восход» и «Восход-2» и на всех последующих

КК типа «Союз» [5]. При первых пилотируемых полетах американских астронавтов также было использовано кресло с углом наклона спинки кресла 65° от вектора ускорений.

В 1962 г. в ГНИИАиКМ была установлена новая ЦФ радиусом 7,25 м шведского производства. Поэтому на этой ЦФ выполнялись все дальнейшие работы, связанные с воздействием перегрузок применительно к полетам в космос, а именно отбор и подготовка космонавтов «гагаринского набора» и последующих космонавтов летных и гражданских профессий.

В 1970–1980-е годы уже в ИМБП в наземных условиях на ЦФ такого же радиуса и также шведского производства постоянно проводились экспериментальные исследования до и после различных сроков (от 30 сут до 1 года) пребывания в условиях антиортостатической гипокинезии (АНОГ), моделирующих некоторые физиологические эффекты невесомости. Объектами исследований были лица разного пола, здоровые, а также имеющие некоторые отклонения в состоянии здоровья. Важно подчеркнуть, что наземные исследования выполнялись с участием лиц нелетных профессий, как правило, заблаговременно до осуществления реальных КП возрастающей длительности. Также в начале 80-х годов прошлого столетия сотрудниками нашей лаборатории, в том числе В.Ю. Лукьянюком выполнялись исследования, посвященные изучению переносимости перегрузок направления «голова – таз» (+Gz) и «грудь – спина» (+Gx) у лиц нелетных профессий различного возраста (от 21 до 58 лет), практически здоровых, но имеющих отклонения в состоянии здоровья в виде начальных признаков атеросклероза [6]. В результате было установлено наличие возрастной динамики переносимости перегрузок продольного (+Gz) и поперечного (+Gx) направлений. Наиболее высокая устойчивость к действию перегрузок наблюдалась в возрасте 31–40 лет, наименьшая – у обследуемых 21–25 и 46–58 лет. Нарушения физиологических реакций при действии перегрузок у этих лиц были разными. Для молодых лиц (21–25 лет) характерен астенический тип реакции артериального давления (АД), развитие функциональных нарушений сердечного ритма и потеря сознания, а для лиц старше 45 лет – нарушения сердечного ритма, ограничение максимальных значений частоты сердечных сокращений (ЧСС) и замедленное восстановление АД после окончания действия перегрузок ($p < 0,005$), свидетельствующее о снижении функциональных резервов сердечно-сосудистой системы. У лиц в возрасте 41–45 и 46–50 лет с начальными признаками атеросклероза переносимость перегрузок направления +Gz и +Gx была хуже, чем у практически здоровых лиц аналогичного возраста. Тем не менее сделан важный вывод, что лица старших возрастных групп, практически

здоровые и имеющие начальные признаки атеросклероза, могут претендовать на участие в КП при условии хорошей переносимости перегрузок на ЦФ в системе первичного отбора [6].

В связи с планированием в конце 80-х годов прошлого столетия КП длительностью до одного года было важным оценить степень опасности и риска столь длительного пребывания в невесомости и обеспечения безопасности экипажа при возвращении на Землю. С этой целью в ИМБП на базе «Планерная» был проведен годовой эксперимент в условиях АНОГ -6° . Этот комплексный эксперимент выполнялся под руководством А.И. Григорьева и Б.В. Морукова. Специалистов института, занимающихся переносимостью перегрузок, интересовала переносимость режима перегрузок баллистического спуска на Землю после имитированной невесомости длительностью 120, 240 и 360 сут. А.Р. Котовской и И.Ф. Виль-Вильямс установлено, что переносимость перегрузок +8 Gx после 120-суточной АНОГ без использования профилактических мероприятий и противоперегрузочного костюма (ППК) заметно снижалась по сравнению с контрольными исследованиями на ЦФ. Применение комплекса общепринятых профилактических мероприятий в период от 120 до 240 сут пребывания в АНОГ без использования ППК обеспечивало некоторое улучшение переносимости перегрузок. И наконец, использование комплекса мер профилактики в период с 240 до 360 сут АНОГ, а также применение гидратирующих средств и ППК во время вращения на ЦФ обеспечивало в целом удовлетворительный, хотя и пониженный по сравнению с контрольным, уровень переносимости [7].

Таким образом, полученные в наземных условиях результаты свидетельствовали о необходимости использования всего комплекса средств профилактики в условиях имитированной невесомости и, конечно, в КП длительностью один год, а также обязательного применения противоперегрузочной защиты в виде ППК во время действия перегрузок на этапе возвращения на Землю.

Переносимость перегрузок космонавтами в КП на ОС «Салют-6», «Салют-7» и «Мир»

а. Физиологические реакции космонавтов при действии перегрузок +Gx при выведении корабля «Союз» на орбиту

По субъективным оценкам перед стартом общее состояние у всех космонавтов было хорошим. Находясь в кабине КК, они испытывали чувство волнения и тревоги перед предстоящей космической миссией. Однако они четко выполняли все необходимые рабочие операции, предусмотренные этапом подготовки к старту.

На участке выведения КК «Союз» на орбиту при действии перегрузок направления «грудь – спина» с максимальной величиной 4,0 ед. самочувствие космонавтов оставалось хорошим. Величины перегрузок по их ощущениям соответствовали реальным. Отмечалось также ощущение небольшого давления перегрузки на все тело, вибрации корабля «как поездки на телеге по булыжной дороге» и чувство «провала» при отделении первых двух ступеней ракеты-носителя. Со слов космонавтов: «все внутри находилось в надежде на штатную работу всех трех ступеней ракеты-носителя». Зрение оставалось ясным, затруднений дыхания, речи и вестибуловегетативных реакций не было. Физиологические реакции космонавтов на этом участке полета носили умеренный характер. Изменения физиологических показателей перед стартом и на активных участках полета почти у всех космонавтов имели сходную динамику. Учащение пульса и дыхания, возникшее в предстартовом периоде, с началом полета продолжало нарастать. Наибольших значений ЧСС и частота дыхания достигали на первой минуте полета, когда перегрузки были незначительными по величине. Затем, несмотря на продолжающееся увеличение перегрузок, происходило постепенное урежение пульса и дыхания. Изменения временных показателей ЭКГ соответствовали увеличению ЧСС. Нарушения на ЭКГ в этот период полета были отмечены в 6,2 % случаев в виде одиночных монотопных суправентрикулярных или желудочковых экстрасистол. Значительных различий в изменениях упомянутых параметров на этом этапе полета в зависимости от возраста космонавтов не отмечено. Вместе с тем у космонавтов старше 45 лет выявлена тенденция к увеличению частоты нарушений сердечного ритма в виде одиночной экстрасистолы по сравнению с более молодыми космонавтами (31–35 лет).

При сопоставлении реакций космонавтов на участке выведения корабля на орбиту при первичных и повторных полетах различие установлено только по субъективным ощущениям. Перегрузки в повторных полетах переносились легче, чем в первом. Это проявлялось в менее выраженном чувстве тревоги и волнения, так как ощущения, характерные для действия перегрузок на этом участке полета, были им уже знакомы. Однако со стороны объективных физиологических реакций космонавтов достоверных различий при первом и повторных полетах не установлено.

Кроме того, обращало на себя внимание, что в условиях реального полета степень напряжения физиологических реакций при действии перегрузок была более значительной, чем в дополетных исследованиях на ЦФ по аналогичному графику перегрузок. Эти изменения, по-видимому, были обусловлены увеличением психоэмоционального напряжения

в реальных полетах, что, очевидно, в значительной мере определяло исходный уровень и характер изменений физиологических реакций со стороны кардиореспираторной системы.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что физиологические реакции организма всех космонавтов на воздействие штатных режимов перегрузок на участке выведения на орбиту в полетах на кораблях «Союз» носили умеренный характер. Критических симптомов, ограничивающих переносимость перегрузок на этом участке полета, не наблюдалось, что свидетельствовало в целом о хорошей переносимости ими перегрузок и отсутствии необходимости использования ППК [8].

Полученные результаты дали основание принять очень ответственное и важное решение, что для противоперегрузочной защиты космонавтов на участке выведения КК на орбиту не требуется применять ППК. Многолетние наблюдения за переносимостью космонавтами перегрузок на этом участке полета КК «Союз» подтвердили правильность ранее принятого решения.

б. Физиологические реакции космонавтов при действии перегрузок при спуске корабля «Союз» на Землю

Совсем другая ситуация сложилась с переносимостью человеком перегрузок на участке спуска КК на Землю после предшествующего пребывания в условиях невесомости различной длительности. Это связано с тем, что воздействие перегрузок для космонавтов на заключительном и ответственном участке полета является первым испытанием, первой серьезной нагрузочной пробой для организма, детренированного в условиях невесомости. Спуск с орбиты на Землю является заключительным этапом полета, и от его исхода зависит успешность всей космической миссии в целом.

Именно поэтому изучению этой важной проблемы уделялось и всегда будет уделяться повышенное внимание.

в. Физиологические реакции космонавтов при действии перегрузок +Gx на спуске корабля «Союз» после кратковременной (< 1 мес) невесомости

Самочувствие космонавтов при действии перегрузок штатного режима (от 3,3 до 5,1 G) на этапе спуска на Землю после кратковременного (< 1 мес) пребывания в невесомости без применения профилактических средств в полете и без ППК на спуске было удовлетворительным. Космонавты отмечали общее утомление, связанное с подготовкой к спуску с орбиты. Во время действия перегрузок отмечалось чувство заметного давления перегрузки на тело, в отдельных случаях небольшое затруднение

дыхания. Космонавты поддерживали умеренное напряжение мышц брюшного пресса и нижних конечностей для противодействия перераспределению крови от головы к ногам за счет продольной составляющей перегрузки +Gz, что вызывало явление физического утомления. Зрение оставалось ясным. Выраженных вестибуловегетативных реакций у большинства космонавтов не было. В отдельных случаях на участке спуска, особенно после раскрытия основного парашюта, при «закрутке» и раскачке спускаемого корабля на стропах, наблюдались явления вестибуловегетативных нарушений в виде общего дискомфорта. Сдвиги физиологических показателей, имеющие психоэмоциональное происхождение, возникали еще перед спуском. У всех космонавтов было зарегистрировано учащение пульса и дыхания, что, по всей видимости, было обусловлено ожиданием спуска как наиболее ответственного, заключительного этапа полета. Отмечалось заметное напряжение физиологических систем организма, хотя признаков срыва компенсаторных механизмов не было. Нарушения сердечного ритма на ЭКГ были зарегистрированы в $13 \pm 7\%$ случаев. У всех космонавтов они проявлялись на ЭКГ в виде одиночных монотопных суправентрикулярных экстрасистол. Сравнительный анализ частоты нарушений сердечного ритма у космонавтов разного возраста не выявил достоверных изменений, хотя была отмечена тенденция ($p < 0,3$) к увеличению случаев аритмии сердечной деятельности у лиц старше 45 лет.

После приземления общее состояние космонавтов было удовлетворительным. При выходе из корабля «Союз» отмечались признаки ортостатической неустойчивости, бледность и гипергидроз лица на фоне общего дискомфорта, а при ходьбе – нарушения координации и равновесия. На коже спины и боковых поверхностях грудной клетки отмечены участки мелкоточечных петехиальных кровоизлияний.

Таким образом, физиологические реакции сердечно-сосудистой и дыхательной систем организма космонавтов при действии перегрузок на участке спуска КК на Землю после кратковременного (< 1 мес) пребывания в невесомости свидетельствовали о заметном напряжении этих систем. Причина ухудшения переносимости космонавтами перегрузок на этом этапе, по-видимому, заключалась в развитии в условиях кратковременного действия невесомости детренированности сердечно-сосудистой и мышечной систем организма, а также гиповолемии. Немаловажная роль принадлежала и психоэмоциональному напряжению космонавтов на заключительном этапе полета [9].

г. Физиологические реакции космонавтов при действии перегрузок +Gx на спуске корабля «Союз» после длительной (> 1 мес) невесомости

Подготовка космонавтов к спуску с орбиты на Землю после длительных космических миссий (> 1 мес) начиналась уже в условиях невесомости. С приближением даты спуска увеличивался объем физических тренировок и выполнялись тренировки с воздействием отрицательного давления на нижнюю половину тела (ОДНТ) с целью уменьшения детренированности сердечно-сосудистой системы организма и подготовки космонавтов к спуску на Землю. За несколько дней до спуска космонавты выполняли примерку и подгонку ППК в связи с изменением антропометрических данных нижней половины тела. Кроме того, в день спуска осуществлялся прием водно-солевых добавок для восстановления объема циркулирующей крови, сниженного в невесомости. Большой объем работы при сборе возвращаемого груза, перенос его в транспортный корабль «Союз» и эмоционально-психологическое напряжение в ожидании спуска приводило к ухудшению сна и появлению чувства усталости. Вот именно на таком фоне и начинается для экипажа завершающий этап полета. Перегрузки при прохождении плотных слоев атмосферы субъективно переносились после длительной невесомости заметно тяжелее, чем на наземной ЦФ по аналогичному режиму. Величины перегрузок космонавты, как правило, воспринимали на 2–4 ед. больше, чем они были на самом деле (от 3,3 до 5,1 ед.). Появлялось затруднение дыхания, ощущение учащенного сердцебиения, затруднения речи, неприятного чувства комка в горле с невозможностью вдохнуть, в ряде случаев нарушения зрения и др.

На участке спуска с орбиты после длительного пребывания в условиях невесомости (от 2 до 8 мес) при использовании в полете комплекса профилактических мероприятий, но без ППК на спуске самочувствие космонавтов было в целом удовлетворительным, а напряжение физиологических систем организма отчетливо возрастало по сравнению с кратковременными полетами без ППК. В отдельных случаях возникали начальные признаки срыва компенсаторных механизмов: в 1 случае на ЭКГ была зарегистрирована относительная брадикардия, еще в 2 случаях – нарушения зрения в виде сужения поля зрения и появления «серой пелены» [8].

Таким образом, физиологические реакции организма космонавтов ОС «Мир» при действии перегрузок на участке спуска корабля «Союз» после длительного (> 1 мес) пребывания в невесомости и без использования ППК свидетельствовали о выраженном напряжении сердечно-сосудистой и дыхательной систем. В целом в длительных полетах без ППК отмечалось заметное ухудшение

переносимости перегрузок по сравнению с кратковременными полетами.

Объективная информация и подробный анализ субъективных ощущений космонавтов и их оценки переносимости перегрузок при прохождении плотных слоев атмосферы свидетельствовали о срочной необходимости использования специального ППК на заключительном этапе полетов. Начиная с 1985 г. на этапе спуска стали применять ППК бескамерного типа «Каркас», разработанный под руководством А.С. Ярова, а с 1992 г. и до настоящего времени – ППК «Кентавр» с его улучшенными эргономическими качествами [9].

Во всех случаях, когда в длительных полетах (от 2 до 14,5 мес) использовались средства профилактики, а при спуске – ППК, самочувствие космонавтов при воздействии перегрузок +Gx при возвращении на Землю было удовлетворительным. Применение ППК в указанных условиях уменьшало напряжение физиологических систем организма по сравнению с длительными полетами без использования ППК, создавало чувство уверенности в безопасности, предупреждало у многих людей возникновение зрительных нарушений, устраняло необходимость поддерживать статическое напряжение мышц брюшного пресса и ног, уменьшало чувство общего утомления. Позитивный эффект применения ППК при действии перегрузок на участке спуска был связан с «обжатием» нижней половины тела, что препятствовало перераспределению крови от головы в нижнюю половину тела и обеспечивало лучшие условия для функционирования сердечно-сосудистой системы, в том числе улучшало кровоснабжение головного мозга и сетчатки глаз в этих условиях. Важно отметить, что использование ППК хотя и предупреждало в ряде случаев возникновение зрительных расстройств, но не устраняло изменений в других системах организма – затруднений дыхания и речи, тахипноэ и вестибуловегетативных реакций. Выраженность синусовой тахикардии у космонавтов, использовавших ППК, была заметно меньше, чем в аналогичных условиях без ППК.

Однако применение ППК не предупреждало появления экстрасистолической аритмии.

В генезе возникновения нарушений сердечного ритма в указанных условиях важную роль, очевидно, играла совокупность факторов: перестройка регуляции сердечно-сосудистой системы в условиях невесомости, обусловленная изменениями гемодинамики, водно-солевого обмена (особенно гипокалиемии) и микроциркуляции, нарушения регуляции ритма сердца под воздействием перегрузок и возрастные особенности регуляции ритма сердца, связанные со снижением автоматизма синусового узла, ухудшением проводимости в отдельных участках миокарда и образованием очагов нарушенного метаболизма [10].

Важно было сравнить у одних и тех же космонавтов степень «напряжения» физиологических систем организма при действии перегрузок после длительных КП и в наземных условиях на ЦФ до полета. Оказалось, что в реальных КП при действии перегрузок +Gx величиной 4,0 ед. штатного режима спуска изменения физиологических систем организма соответствовали таковым при действии перегрузок +8,0 ед. на Земле. Иными словами, степень напряжения физиологических систем космонавтов после длительных КП при действии перегрузок спуска увеличивается в 2 раза по сравнению с испытаниями на Земле.

После приземления по окончании длительных полетов космонавты нуждались в посторонней помощи независимо от того, применялся или нет ППК на этапе спуска. При выходе из корабля «Союз» во всех случаях отмечались признаки ортостатической неустойчивости на фоне выраженных вестибуловегетативных нарушений в виде тошноты и рвоты, нарушения координации и равновесия. Во всех случаях на коже спины и боковых поверхностях грудной клетки множественные мелкоточечные и сливные петехиальные кровоизлияния были выражены больше, чем после кратковременных полетов.

Все это свидетельствует о том, что условия спуска с орбиты на корабле «Союз» не являются оптимальными.

в. Влияние нештатных ситуаций в КП на последующую переносимость перегрузок +Gx на участке спуска корабля «Союз» на Землю

Последние годы функционирования ОС «Мир» (1996–1999) характеризовались появлением 4 нештатных ситуаций. Нештатные ситуации в полетах ЭО-22–ЭО-27 требовали проведения большого объема ремонтно-технических работ. Это ограничивало время на выполнение космонавтами комплекса средств профилактики в полном объеме, что, конечно, отразилось на переносимости космонавтами перегрузок при спуске КК на Землю. У космонавтов этой группы при действии перегрузок после пребывания в невесомости от 6 до 12,5 мес синусовая тахикардия держалась на уровне 120–130 уд/мин, а нарушения сердечного ритма зарегистрированы в 42 % случаев, т.е. в 2 раза чаще, чем у первых 11 экипажей ОС «Мир». В одном случае (ЭО-23) на участке спуска после пребывания в невесомости длительностью 186 сут возникли множественные политопные одиночные и групповые желудочковые экстрасистолы (всего 152). Эти нарушения сердечного ритма носили прогностически неблагоприятный характер и свидетельствовали о резком снижении переносимости перегрузок.

Эти материалы дали основание считать, что неполный объем применения комплекса средств

профилактики в ходе полета следует рассматривать в качестве фактора, который приводит к ухудшению переносимости перегрузок на заключительном этапе полета, несмотря на применение ППК [8, 10].

Переносимость перегрузок космонавтами МКС

При полетах на ОС «Мир» и МКС в качестве транспортного корабля использовался и продолжает использоваться один и тот же тип КК, а именно «Союз» с внедрением соответствующих доработок технического характера. Основные параметры режимов перегрузок на участке выведения корабля «Союз» на орбиту и его спуска на Землю, поза космонавтов в кресле, система отбора и подготовки космонавтов принципиально остались прежними. Но вместе с тем анализ и обобщение физиологических реакций космонавтов и переносимости перегрузок в целом в экспедициях на МКС имеет очень важный смысл. Это связано с главным предназначением МКС – проведением на этой станции научных исследований, результаты которых будут необходимы при подготовке межпланетных полетов. Переносимость перегрузок космонавтами МКС достаточно полно представлена А.Р. Котовской и М.И. Колотевой в книге «Международная космическая станция» [11].

а. Переносимость перегрузок космонавтами-профессионалами и космонавтами-непрофессионалами

Эти особенности касались участия в полетах на МКС космонавтов-непрофессионалов, имевших до полета парциальную недостаточность в состоянии здоровья, более широкий возрастной диапазон (29–61 год и более), чем у космонавтов ОС «Мир» (31–49 лет), а также возникновения нештатных ситуаций в полете на МКС, в том числе на участке спуска корабля «Союз» на Землю. Проведены исследования переносимости перегрузок у 140 космонавтов МКС, выполнивших КП в течение 2000–2016 гг.

По данным В.В. Богомолова, И.Б. Гончарова и др., для медицинского обеспечения безопасности полетов космонавтов-непрофессионалов МКС и минимизации медицинских рисков потребовалось внести необходимые изменения в систему медицинского обеспечения КП: разработать специальные меры защиты организма человека, включая фармакологическую коррекцию состояния здоровья в полете, поставку индивидуальных аптечек с лечебно-профилактическими препаратами, коррекцию программы профилактических мероприятий и др. [12]. При их разработке учитывалась возможность появления негативных изменений в организме и, прежде всего, риск появления выраженных нарушений сердечной деятельности.

В кратковременных КП участвовали 23 космонавта, из них 16 космонавтов-профессионалов и 7 космонавтов-«туристов». В 3 случаях

космонавты-«туристы» имели парциальную недостаточность разных физиологических систем организма. Их допуск к КП осуществлялся по оптимизированным критериям медицинского освидетельствования, отличных от тех критериев, которые использовались у космонавтов-профессионалов [12]. Средства профилактики неблагоприятного влияния невесомости на организм в коротких КП не применялись (кроме водно-солевых добавок – ВСД – в день спуска КК). В длительных КП, как всегда, использовались комплекс физических тренировок, ОДНТ-тренировки в конце полета, а также в день спуска ВСД.

Переносимость перегрузок при выведении КК на орбиту у всех космонавтов-профессионалов была хорошей, а у космонавтов-«туристов» у 6 человек из 7 также была оценена хорошей, и только у 1 – плохой. Именно этот человек в возрасте около 70 лет имел значительные отклонения в состоянии здоровья.

В результате проведенных исследований выявлены особенности физиологических реакций космонавтов-непрофессионалов МКС на действие перегрузок +Gx в кратковременных (8–12-суточных) полетах по сравнению с реакциями космонавтов-профессионалов ОС «Мир» [10]. Установлено, что «напряжение» физиологических систем организма у космонавтов-непрофессионалов МКС при действии перегрузок +Gx на участках выведения КК на орбиту и при его спуске на Землю было заметно больше, что проявлялось в более выраженной синусовой тахикардии и тахипноэ. У этих космонавтов чаще регистрировались нарушения сердечного ритма, которые носили более серьезный характер и имели больший полиморфизм, чем у космонавтов ОС «Мир». Кроме того, в 1 случае у космонавта МКС на участке спуска на Землю были зарегистрированы изменения ЭКГ ишемического характера [13, 14].

Изменения физиологических параметров при действии перегрузок у космонавтов-профессионалов МКС носили примерно такой же характер, как у космонавтов ОС «Мир». Однако у космонавтов МКС частота нарушений сердечного ритма и изменений ЭКГ были более высокими, чем у космонавтов ОС «Мир» [14].

Полученные результаты также показали, что наблюдаемые у космонавтов до старта индивидуальные особенности регуляции сердечного ритма могут привести к серьезным изменениям ЭКГ при действии перегрузок на участке спуска с орбиты на Землю, что следует учитывать при подготовке индивидуальных программ медицинских мероприятий для космонавтов-непрофессионалов МКС, направленных на минимизацию медицинских рисков.

б. Переносимость перегрузок при штатных и нештатных режимах спуска

Особый интерес представлял анализ переносимости космонавтами МКС перегрузок +Gx в

нештатных условиях спуска КК на Землю. В этих условиях перегрузки превышали штатные величины (3,7–5,1 G) и достигали значений (6,26–8,68 G). При баллистических спусках на Землю после пребывания невесомости разной продолжительности (< 1 мес и >1 мес) у космонавтов отмечалось более частое возникновение зрительных расстройств, вестибуловегетативных реакций, нарастание синусовой тахикардии и тахипноэ, более частое появление нарушений сердечного ритма и прогностически неблагоприятных изменений на ЭКГ по сравнению со штатными режимами [13].

Указанные изменения состояния космонавтов и их физиологических параметров при действии перегрузок носили преходящий, функциональный характер. Вместе с тем необходимо обратить внимание на значимость указанных нарушений с точки зрения сохранения работоспособности и общего состояния здоровья космонавтов на заключительном этапе полета. Нарушения зрения при прохождении спускаемым аппаратом (СА) плотных слоев атмосферы и действии перегрузок является крайне опасным, так как создает риск нарушения работоспособности и общего состояния здоровья космонавтов, и прежде всего командира КК, особенно при необходимости ручного управления спуском.

По данным А.Р. Котовской и М.И. Колотевой [15], у космонавтов МКС в послеполетном периоде впервые наблюдались кратковременные обмороки, в отличие от предыдущих КП на ОС «Салют» и «Мир», когда такой степени детренированности сердечно-сосудистой системы не возникало. Обмороки возникали сразу после выхода из СА при попытке принять вертикальное положение, а также спустя 15 ч после спуска КК на Землю. Всего было зарегистрировано 10 случаев возникновения обмороков, из которых в 8 случаях после штатного режима спуска, а 2 случая – после баллистического спуска. Кроме того, из этих 10 наблюдений 4 обморочных состояния наблюдались у российских космонавтов, а 6 – у астронавтов разных стран.

Появление после посадки КК кратковременных обмороков, а также вестибуловегетативных расстройств в виде тошноты и рвоты, трудности сохранения нормальной координации движений тела свидетельствуют о выраженном ухудшении общего состояния здоровья человека. Это означает, что космонавты на месте приземления нуждаются в посторонней помощи.

Возвращение на Землю является не только ответственным, трудным и эмоционально насыщенным этапом полета, но и первым серьезным испытанием для человека после пребывания в невесомости, когда при действии перегрузок спуска выявляются резервные возможности и «слабые места» организма. От прохождения этого этапа полета зависит успешность всей космической миссии в целом.

Значение космических кораблей многоразового использования

Реальное состояние дел по переносимости космонавтами заключительного этапа КП при возвращении на Землю очень беспокоило директора ИМБП О.Г. Газенко, а также руководителей различных отраслей науки и техники, имевших непосредственное отношение к отечественной пилотируемой космонавтике.

Речь шла о создании космического корабля нового типа, который мог бы неоднократно летать и возвращать космонавтов на Землю после их пребывания в невесомости на орбитальных станциях. К разработке этого нового типа космического корабля многоразового использования был привлечен Г.Е. Лозино-Лозинский, который был одним из главных конструкторов ОКБ Микояна. Этим новым проектом предусматривалось заменить КК «Союз» кораблем многоразового использования «Буран». Корабль многоразового использования «Буран» предназначался для выведения на орбиту, полета в управляемом режиме, посадки в пилотируемом и автоматическом режимах. «Буран» должен был спускаться по «самолетному типу» и при этом на космонавта будут действовать перегрузки неблагоприятного для человека направления «голова – таз» (+Gz) в отличие от направления перегрузок «грудь – спина», которое существует на кораблях «Союз». Второе отличие заключалось в том, что перегрузки должны действовать с очень медленной скоростью нарастания (порядка 0,003 ед./с), т.е. общее время их действия составляло более 20 мин. И наконец, важно было учесть возможность ручного управления спуском «Бурана» на Землю после 7-суточного пребывания в условиях невесомости.

В связи с этим в ИМБП была организована рабочая группа в составе А.М. Генина и Л.В. Гусевой, которая регулярно организовывала совещания для обсуждения разных вопросов выполнения проекта «Буран». В работе совещаний принимали участие сотрудники нашего института, а также представители разных фирм. В частности, Е.Н. Ярманова была представителем НПО «Молния». Иными словами, специалисты разных учреждений принимали активное участие в новом направлении исследований.

Сотрудниками лаборатории ускорений были определены пределы переносимости человеком перегрузок направления +Gz, основные причины, лимитирующие устойчивость человека к действию указанных режимов +Gz на ЦФ, критерии оценки состояния физиологических систем организма в условиях его обычной жизнедеятельности, а также после пребывания в условиях 7-суточной имитированной невесомости – «сухой» иммерсии. Определены взаимосвязи между гипогидратацией организма во время 7-суточной иммерсии и величиной

индивидуального снижения переносимости перегрузок и многое другое [16–18].

Было создано 2 летных образца КК «Буран»: № 1.01 и 1.02. Первый и единственный полет был осуществлен 15 ноября 1988 г. полностью в автоматическом режиме. В 1991 г. все работы по проекту «Буран» были прекращены.

К выполнению этих работ были привлечены 5 летчиков-испытателей ЛИИ (г. Жуковский) во главе с И.П. Волком. Эта группа летчиков-испытателей затем стала летчиками-космонавтами. В конечном итоге была проделана огромная работа с участием большого числа людей самых разных профессий. Несмотря на то что, к сожалению, проект «Буран» был закрыт, сотрудниками лаборатории ускорений получен новый полезный научный материал для понимания огромной значимости градиента нарастания перегрузок (ед./с) и большой длительности их действия для переносимости человеком перегрузок направления +Gz при возвращении космонавтов на Землю [16].

Не сомневаюсь, что при создании перспективных пилотируемых космических аппаратов будут использованы результаты наших исследований по определению пределов переносимости человеком перегрузок направления +Gz.

Разработка проблемы искусственной гравитации

Человек создан для жизни на Земле. Невесомость – чуждая для него среда. Земное тяготение наложило свой отпечаток на развитие, строение, функцию и поведение всех организмов, существующих на Земле. Человек обладает удивительной способностью адаптироваться к окружающей его среде. В условиях невесомости организм человека вынужден приспосабливаться к новым условиям жизни. Отсутствие земной силы тяжести приводит к соответствующим перестройкам в организме: детренированности сердечно-сосудистой системы и в целом снижению его функциональных возможностей. Практика КП свидетельствует о возможности длительной, в течение 1–1,5 года, жизни в невесомости, при условии выполнения комплекса мер профилактики.

Вместе с тем практика КП свидетельствует также о том, что, несмотря на меры профилактики, явления детренированности организма сохраняются, и это особенно ярко проявляется при возвращении человека на Землю.

В настоящее время результаты медико-биологических исследований не дают достаточно веских оснований прогнозировать безопасность для здоровья и жизни человека в КП любой продолжительности. Причиной детренированности сердечно-сосудистой системы человека и всего организма в целом является отсутствие в невесомости гидростатического давления крови.

Для снижения риска развития детренированности организма требуется создание и последующее использование искусственной силы тяжести в качестве нового профилактического средства.

Наиболее реальный путь решения этой проблемы – создать на борту космической станции искусственную гравитацию с помощью центрифуги короткого радиуса (ЦКР).

В настоящее время применительно к переносимости человеком перегрузок на ЦКР решен только один вопрос: о направлении действия перегрузок при его вращении на ЦКР, а именно перегрузки должны действовать в направлении «голова – ноги» (+Gz). Только при этом направлении действие перегрузок +Gz восстановит исчезнувшее в невесомости гидростатическое давление крови, характерное для вертикальной позы человека в условиях земной силы тяжести. Важно определить минимальную длительность воздействия перегрузки +Gz, при которой уменьшаются расстройства, вызываемые невесомостью. Наибольшая эффективность воздействия перегрузок определяется оптимальной комбинацией величины +Gz и их длительностью: высокие уровни перегрузок потребуют меньшей длительности при аналогичных положительных эффектах малых величин перегрузок, но большой длительности. Иными словами, время действия перегрузок – чрезвычайно важный фактор.

Необходимо учитывать возможность появления негативных эффектов, характерных для перегрузок +Gz, а именно возможность появления предвестников обморока или обморока, а также вестибуловегетативных расстройств [19]. Кроме того, при частых и длительных по времени перегрузках возможно появление негативных признаков кумуляции в виде патологических нарушений со стороны органов малого таза. И это не предположение, это факты, опубликованные отечественными учеными [20, 21]. Это означает, что при длительном действии перегрузок направления +Gz и +Gx есть риск навредить здоровью человека. Таковы общие сведения, которые следует учитывать при использовании ЦКР.

а. Исследования с участием человека

Возможность использования ЦКР для профилактики снижения ортостатической устойчивости человека после 40-суточной гипокинезии впервые в мире установлена в 1965 г. в США доктором W.J. White [22]. По данным этого автора, перегрузки «голова – таз» (+Gz) величиной 4 ед. с небольшой длительностью воздействия оказывали выраженный профилактический эффект.

В нашей стране по инициативе О.Г. Газенко в ИМБП впервые Е.Б. Шульженко и И.Ф. Виль-Вильямс провели научные исследования на ЦКР с участием человека. В 1978 г. сотрудниками ИМБП

был разработан стенд ЦКР с длиной «плеча» 2 м [23]. ЦКР была оборудована ложементом, который позволял изменять углы сгибания в тазобедренных и коленных суставах от 180° (ноги полностью выпрямлены) до 90° (ноги согнуты в тазобедренных и коленных суставах). На уровне головы величина перегрузки приближалась к нулю (без учета земной гравитации). На уровне стоп можно было создавать перегрузку направления «голова – таз» (+Gz) величиной до 4 ед.

На этой ЦКР И.Ф. Виль-Вильямс выполнила большой объем исследований. С целью выбора предпочтительных режимов было использовано 8 различных режимов вращения на ЦКР. Эти режимы различались между собой по величине перегрузки (от 1,3 до 1,9 ед.), длительности одного вращения (30, 40 и 60 мин), частоты вращений в течение суток (2 или 3 раза), длительности периодов применения (3 или 6 сут), а также по сочетанию с другими средствами профилактики – с искусственной гидратацией организма с помощью ВСД или с физической нагрузкой на велоэргометре (ВЭ). Оценивалась переносимость человеком заданного конкретного режима воздействия перегрузок на ЦКР и эффективность этого режима с точки зрения предотвращения или уменьшения неблагоприятного влияния моделируемой невесомости на физиологические системы организма и гравитационную устойчивость.

Для моделирования эффектов невесомости использовался метод «сухого» погружения человека в иммерсионную среду длительностью 3 и 28 сут.

В условиях 3-суточной иммерсии были выполнены исследования без применения профилактических мероприятий и при использовании на ЦКР с 1-х по 3-и сутки иммерсии перегрузок направления «голова – таз» (+Gz) величиной 1,3; 1,6 и 1,9 ед. по 40 мин 3 раза в сутки. Гравитационный градиент по продольной оси тела был равен 100 %. Скорость набора и спада перегрузок составляла 0,01 ед./с. До и после иммерсии на ЦФ радиусом 7,25 м проводили функциональную пробу с воздействием перегрузок +3 Gz до 5 мин. Результаты исследований показали, что переносимость человеком указанных режимов перегрузок в подавляющем большинстве исследований была хорошей. Зрительные расстройства отсутствовали. Вестибуловегетативные реакции в виде слабости, тошноты и головокружения были отмечены в 2,6 % наблюдений (4 случая из 153). После фиксации головы обследуемых с целью предупреждения появления прецессионных ускорений эти явления не возникали. Изменения физиологических функций организма во время вращений на ЦКР носили умеренный характер. Важно отметить, что при воздействии перегрузок величиной от 1,3 до 1,9 ед. у обследуемых, находящихся в горизонтальном положении, моделировался гидростатический градиент давления крови вдоль продольной

оси тела, величина которого не отличалась от значений градиента, возникающего в условиях вертикальной позы. После остановки ЦКР в 0,6 % наблюдений (1 случай из 153) после воздействия перегрузки +1,6 Gz были отмечены множественные петехиальные геморрагии в кожные покровы голени и стоп, что, являлось следствием застойных явлений в указанных областях. Использование на фоне 3-суточной иммерсии различных режимов воздействия перегрузок на ЦКР оказывало положительное влияние на гравитационную устойчивость организма. Так, до иммерсии время воздействия перегрузок +3 Gz соответствовало заданному – 300 с. После 3-суточной иммерсии без применения средств профилактики время переносимости перегрузок +3 Gz снизилось до 237 ± 16 с (на 21 %). После иммерсии и применения на ЦКР перегрузок +Gz величиной 1,3; 1,6 и 1,9 ед. время последующего воздействия перегрузок +3 Gz возрастало соответственно до 246 ± 34 , 278 ± 14 и 299 ± 12 с и приближалось к исходному. Оно было меньше исходного лишь на 18, 7 и 1 % соответственно [24]. Положительные эффекты воздействия перегрузок +Gz на ЦКР проявлялись также в уменьшении отрицательного влияния моделируемой невесомости на физиологические системы организма, особенно на сердечно-сосудистую систему и водно-электролитный обмен. Полученные результаты свидетельствовали о принципиальной возможности использования перегрузок направления +Gz на ЦКР величиной от 1,3 до 1,9 ед. для профилактики эффектов детренированности организма в условиях моделируемой невесомости. Предпочтительным режимом в указанных условиях были воздействия перегрузок величиной +1,6 Gz, так как этот режим хорошо переносился человеком и был достаточно эффективным. Учитывая имеющиеся данные, что гипогидратация организма, развивающаяся в условиях невесомости, играет важную роль в генезе снижения ортостатической устойчивости космонавтов после приземления, важно было выяснить, позволяет ли сочетанное применение ЦКР + ВСД получить более заметный профилактический эффект по сравнению с использованием только ЦКР. Для ответа на этот вопрос в условиях 3-суточной иммерсии были проведены исследования без применения средств профилактики и при воздействии на ЦКР с 1-х по 3-е сутки иммерсии перегрузок + Gz величиной 1,3; 1,6 и 1,9 ед. по 60 мин 2 раза в сутки в сочетании с приемом ВСД. Следует напомнить, что до иммерсии время воздействия перегрузок +3 Gz составляло 300 с. После 3-суточной иммерсии без использования средств профилактики оно снизилось до 237 ± 16 с (на 21 %). После применения на фоне иммерсии перегрузок величиной 1,3 и 1,6 ед в сочетании с ВСД время последующего воздействия перегрузок +3 Gz возрастало соответственно до 262 ± 24

и 288 ± 12 с и было больше по сравнению с применением аналогичных режимов вращения ЦКР без ВСД (соответственно на 6 и 3 %). Проведенные исследования свидетельствовали о том, что сочетанное применение ЦКР + ВСД, как правило, оказывало более выраженное положительное влияние на гравитационную устойчивость организма, чем применение одной ЦКР. Предпочтительным режимом в указанных условиях было сочетанное применение перегрузок на ЦКР величиной 1,6 ед. и ВСД. Необходимо также было провести исследования по оценке возможности улучшения гравитационной устойчивости организма после пребывания в условиях моделированной невесомости и предотвращения застойных явлений в нижних конечностях с помощью сочетанного применения перегрузок +Gz на ЦКР и физической нагрузки на ВЭ. Известно, что сокращение мышц нижних конечностей во время работы на ВЭ обеспечивает улучшение венозного возврата крови к сердцу и снижает гидростатическое давление в венах стопы.

Исследования проводились в условиях 28-суточной иммерсии. Схема исследований была построена таким образом, что в первые 7 сут иммерсии профилактические средства не использовались. В течение 6 дней, с 9-х по 14-е сутки иммерсии, проводились воздействия на ЦКР перегрузок +Gz величиной от 1,3 до 1,9 G 2 раза в сутки. Затем в течение последних 5 дней, с 16-х по 21-е сутки иммерсии, осуществлялась физическая нагрузка на ВЭ в объеме 600 кг/мин по 10 мин 3 раза в течение 60-минутного периода без вращений на ЦКР. И наконец, с 23-х по 27-е сутки иммерсии проводилось сочетанное воздействие перегрузок на ЦКР и физической нагрузки на ВЭ с использованием указанных режимов их применения. В качестве функциональной пробы до иммерсии, через 7 и 28 сут иммерсии использовалось воздействие перегрузок +3 Gz до 5 мин на ЦФ радиусом 7,25 м. Сочетанное воздействие перегрузок малых величин на ЦКР и физической нагрузки на ВЭ хорошо переносилось человеком. Общее состояние и самочувствие обследуемых лиц было хорошим. Зрительные расстройства и вестибуловегетативные реакции отсутствовали. Отмечалось положительное влияние физической нагрузки на кровообращение в бассейне сонных артерий, что проявлялось увеличением амплитуды ушной пульсограммы (УПГ). Важно отметить, что при действии перегрузок величиной от 1,3 до 1,9 +Gz в течение 6-суточного периода (с 9-х по 14-е сутки иммерсии) без применения ВЭ у всех обследуемых были обнаружены петехиальные кровоизлияния в кожные покровы голеней и стоп, связанные с развитием застойных явлений. Амплитуда пульсограммы (ПГ) первого пальца стопы при этом снижалась до 10–20 % от исходной, а в отдельные моменты достигала изоэлектрической

линии. Развитие эффектов кумуляции при частых воздействиях перегрузок на ЦКР (2 раза в сутки в течение 6-суточного периода) свидетельствовало о нецелесообразности применения периодических вращений на ЦКР [25, 26].

Во время воздействия на ЦКР аналогичного режима перегрузок в сочетании с физической нагрузкой на ВЭ (с 23-х по 27-е сутки иммерсии) петехиальные геморрагии не возникали. Амплитуда ПГ первого пальца стопы также была достоверно больше, чем в исследованиях без физической нагрузки на ВЭ, что, очевидно, было связано с уменьшением эффектов депонирования крови в сосудах стопы и голени в связи с функционированием «мышечно-го насоса» и снижением уровня гидростатического давления крови в венах стопы. Эти данные свидетельствовали о положительном влиянии физической нагрузки, создаваемой с помощью ВЭ, на региональное кровообращение нижних конечностей во время вращений человека на ЦКР [25].

Сочетанное воздействие перегрузок на ЦКР и физической нагрузки на ВЭ оказывало также положительное влияние на гравитационную устойчивость организма в условиях иммерсии длительностью 28 сут. До иммерсии время воздействия перегрузок +3 Gz составляло 298 ± 2 с. Через 7 сут иммерсии без использования средств профилактики оно снизилось до 130 ± 87 с (на 56 %). После применения профилактических мероприятий (ЦКР, ВЭ и ЦКР + ВЭ) время последующего воздействия перегрузок +3 Gz возрастало до 273 ± 50 с и было лишь на 8 % меньше исходного.

Таким образом, по данным И.Ф. Виль-Вильямс, проведенные в ИМБП исследования показали, что наиболее предпочтительными в плане переносимости и эффективности были такие режимы применения ЦКР, которые сочетались с использованием средств профилактики в виде физической нагрузки на ВЭ или ВСД. В механизме положительного влияния на организм человека перегрузок +Gz, создаваемых на ЦКР, важная роль придается перемещению крови из верхней половины тела в нижнюю. Это способствует созданию гидростатического градиента давления крови на сосуды, тренировке прессорных сосудистых рефлексов, увеличению секреции антидиуретического гормона, альдостерона, ренина, катехоламинов, уменьшению диуреза, экскреции осмотически активных веществ и электролитов (солей калия, кальция, магния и натрия). Следствием этих реакций является увеличение объема циркулирующей крови. Немаловажное значение имеет и создание весовой нагрузки на костно-мышечный аппарат [27].

Основные итоги первых отечественных исследований на ЦКР следующие:

- установлена принципиальная возможность применения на ЦКР перегрузок + Gz величиной от

+1 до +2 Gz для профилактики и коррекции отрицательного влияния моделируемой невесомости на физиологические системы организма и гравитационную устойчивость в целом;

– установлена целесообразность сочетанного применения ЦКР с физической нагрузкой на ВЭ или с искусственной гидратацией организма с помощью ВСД;

– определены отрицательные кумулятивные эффекты воздействия на человека перегрузок +Gz на ЦКР.

б. Исследования с различными биообъектами

В 70-е годы прошлого столетия в нашей стране при активном участии и под руководством О.Г. Газенко и Е.А. Ильина впервые в мире были проведены исследования по проблеме ИГ с помощью специализированных биоспутников, на борту которых были установлены ЦФ. Основной задачей экспериментов, выполненных на биоспутниках «Бион-3» (1975), «Бион-5» (1979), «Бион-10» (1992) и «Бион-11» (1996), являлось сравнительное изучение биологических эффектов ИГ величиной 1G и невесомости на таких живых системах, как насекомые (мухи дрозофилы), семена, проростки высших растений, клеточные растительные культуры и ткани млекопитающих. После окончания полета длительностью до 19,5 суток каких-либо принципиальных различий у биообъектов, находившихся в полете в условиях ИГ, и в наземном контроле не обнаружено, чего нельзя сказать про биообъекты, находившиеся в условиях невесомости. Полученные данные впервые дали экспериментальные основания рассматривать ИГ в качестве эффективного средства, заменяющего земную силу тяжести и предотвращающего развитие биологических эффектов невесомости [28].

В 1977 г. на биоспутнике «Космос-936» с животными на борту (крысы), находившимися в течение 18,5 суток в условиях невесомости и на бортовых ЦФ, впервые были получены данные, что ИГ величиной 1 ед., создаваемая в полете с помощью бортовой ЦФ, может предупредить многие неблагоприятные эффекты невесомости. Особенно следует отметить нормализующее влияние ИГ на функциональное состояние миокарда, опорно-двигательного аппарата и выделительной системы крыс. Эти данные позволили в совокупности с результатами других исследований рассматривать ИГ в качестве одного из перспективных средств поддержания оптимального состояния организма человека в длительных КП [28–30].

В 1996 г. вышла из печати книга под названием «Медико-биологические аспекты проблемы создания искусственной силы тяжести», авторами которой были А.Р. Котовская, А.А. Шипов и

И.Ф. Виль-Вильямс [31]. В этой книге приведены результаты экспериментальных исследований на животных и с участием человека по указанной проблеме, выполненные к 1995 г. в нашей стране и за рубежом.

В рамках комплексного наземного эксперимента, проведенного в ИМБП в 1998–2000 гг. совместно с лабораторией В.И. Королькова, были выполнены исследования на обезьянах макаках-резусах. Режимы тренировочных воздействий перегрузок направления «голова – таз», разработанные И.Ф. Виль-Вильямс на ЦКР для человека, были апробированы на приматах. В качестве модели невесомости использовалась антиортостатическая гипокинезия (АНОГ) сроком 4 нед. Одна группа животных не подвергалась тренировочным вращениям (контроль), а другая группа испытывала перегрузки направления «голова – таз». Сначала животные подвергались воздействию перегрузки величиной 1,2; 1,4 и 1,6 G при длительности 1 вращения до 30–40 мин 4–5 раз в неделю. Для оценки гравитационной устойчивости обезьян до и после АНОГ проводилась функциональная проба с воздействием перегрузок +3 Gz до 30 с. Первые вращения на ЦФ обезьяны переносили вполне удовлетворительно. После повторных вращений возникали отчетливые признаки кумуляции отрицательных эффектов перегрузок. Обезьяны становились вялыми, отказывались от еды. Во время вращений отмечалось критическое снижение амплитуды ушной пульсограммы (< 25 % от исходной), что свидетельствовало о развитии признаков предобморочного состояния. В связи с развитием кумулятивных эффектов было принято решение перейти на более щадящий режим тренировочных вращений с использованием перегрузок + Gz величиной 1,2 ед. до 30 мин 2–3 раза в неделю. Однако кумулятивные эффекты сохранялись, хотя их выраженность была меньшей, чем при частоте вращений 4–5 раз в неделю. При менее частых вращениях (2–3 раза в неделю) эффективность тренировочных вращений, определяемая по переносимости нагрузочной пробы с воздействием перегрузок +3 Gz – 30 с, также была меньше, чем при более частом их воздействии (4–5 раз в неделю) [32].

Проведенные исследования на обезьянах позволили установить 2 важных факта. Во-первых, выбор оптимальных режимов перегрузок +Gz для человека должен определяться в экспериментальных исследованиях только с участием человека. Во-вторых, те режимы перегрузок, которые использовались на ЦКР с участием человека не являлись оптимальными, так как при их использовании уже возникали отрицательные признаки нарушений кумулятивного характера. Кроме того, в этих первых исследованиях с участием человека вполне могли возникнуть негативные изменения

со стороны органов малого таза, но их появление не проверялось.

Таким образом, в настоящее время единственный параметр перегрузок, который принят всеми исследователями, работающими в этой области, это направление перегрузок, а именно действие перегрузок на ЦКР должно быть направлено вдоль продольной оси тела, т.е. от головы к ногам (+Gz). Только при этом направлении действия перегрузок восстановится исчезнувшее в невесомости гидростатическое давление крови, характерное для человека при вертикальной позе в условиях земной силы тяжести. Иными словами, решен вопрос о направлении действия перегрузок при вращении на ЦКР в полете: направление должно быть +Gz.

Использование ЦКР в США, России и Японии в наземных исследованиях с участием человека позволило установить принципиальную возможность профилактики негативного влияния имитированной невесомости для человека.

Положительное влияние периодического вращения человека на ЦКР проявлялось уменьшением негативного влияния невесомости на сердечно-сосудистую систему, систему внешнего дыхания, костно-мышечную систему, водно-электролитный и трансапикалярный обмен, показатели гематокрита и объема плазмы.

Ключевой задачей при разработке проблемы искусственной гравитации является определение оптимального режима (режимов) действия перегрузок с позиции их переносимости и эффективности [33, 34].

Предстоит выполнить огромный объем научных исследований по выбору позы человека в кресле, частоты применения ЦКР, длительности одного вращения, периодичности и количества экспозиций, выбору скорости и спада перегрузок +Gz и решить многие другие задачи. В целом выполненные к настоящему времени исследования свидетельствуют о том, что ЦКР следует считать потенциально новым профилактическим средством в общей системе профилактики неблагоприятного воздействия невесомости на человека при полетах по околоземной орбите, а также в полетах за пределами земной орбиты, например, в полете на Марс. Стенд ЦКР не следует считать универсальным средством профилактики от всех факторов неблагоприятного влияния невесомости. ЦКР должна использоваться наряду с другими средствами профилактики.

Таким образом, критериями эффективности оптимального действия перегрузок +Gz на ЦКР следует считать допустимые степени снижения: устойчивости к перегрузкам +Gx на этапе возвращения человека на Землю; ортостатической устойчивости человека в КП при пробе с ОДНТ и после спуска его на Землю; физической выносливости и сохранности всех систем организма, включая костную ткань.

в. Основные задачи и этапы разработки проблемы искусственной гравитации.

Основными крупными задачами исследований по проблеме искусственной гравитации следует считать:

1. Определение оптимального режима воздействия перегрузок +Gz («голова – ноги») на ЦКР с позиции их переносимости и эффективности, а также определение оптимальной позы человека в ложементе ЦКР.
2. Исследование переносимости человеком повторных воздействий с большим гравитационным градиентом с целью предупреждения развития отрицательных эффектов кумуляции.
3. Разработку мер, направленных на оптимизацию пребывания человека в условиях вращения на ЦКР.
4. Разработку способов и критериев отбора и подготовки космонавтов применительно к полету с искусственной гравитацией.
5. Разработку средств и методов телемедицины.
6. Стандартизацию медицинских исследований для оценки эффективности используемого режима перегрузок +Gz на ЦКР.
7. Определение места и протокола использования ЦКР в интегрированной общей системе профилактики.

Разработка проблемы искусственной гравитации должна выполняться поэтапно. Условно выделено 3 этапа работ.

I этап НИР – исследования на Земле:

- наземные исследования на ЦКР с участием человека, в том числе с использованием имитированной невесомости разной длительности;
- разработка и определение оптимального режима действия перегрузок +Gz на ЦКР;
- разработка способов и критериев отбора и подготовки человека применительно к полетам с искусственной гравитацией;
- разработка и создание бортовой (лётной) модели ЦКР для последующей ее поставки на орбитальную станцию (модуль);
- участие специалистов технического профиля (инженеров, баллистиков и др. является необходимостью

II этап НИР. Исследования на орбитальной станции (модуле):

- оценка переносимости и эффективности выбранных на Земле режимов перегрузок +Gz на ЦКР;
- внесение замечаний, уточнений и коррекция режима действия перегрузок +Gz на ЦКР с возможностью повторной оценки переносимости и эффективности измененного режима.

III этап НИР. Использование ЦКР в сверхдлительных орбитальных полетах и полетах в дальний космос.

Выводы

1. Переносимость перегрузок при выведении КК на орбиту у всех космонавтов сохраняется хорошей и мало отличается от переносимости аналогичного режима перегрузок на ЦФ до полета. Многолетние наблюдения подтвердили правильность принятого в свое время решения не использовать на этом участке полета ППК.

2. Ретроспективный анализ материалов по переносимости космонавтами перегрузок после пребывания в невесомости свидетельствует о необходимости использовать противоперегрузочный костюм на этапе спуска КК после КП любой длительности.

3. Переносимость перегрузок на участке спуска снижается у всех космонавтов после всех КП по сравнению с наземными исследованиями на ЦФ.

4. Возникновение различных нарушений в физиологических системах организма и ухудшение общего состояния человека при действии перегрузок спуска с орбиты после длительных КП (> 1 мес) больше, чем после кратковременных КП, а также больше при баллистических спусках, чем при штатных режимах перегрузок, и даже при нарушении режима и общего объема физических тренировок в невесомости – больше, чем при выполнении полного объема и регулярности этих тренировок во время полета.

5. Практика КП свидетельствует о том, что, несмотря на меры профилактики, используемые в условиях невесомости, явления детренированности сердечно-сосудистой системы и всего организма в целом сохраняются, и это особенно ярко проявляется при возвращении человека на Землю, к условиям земной гравитации. Детренированность сердечно-сосудистой системы человека возникает в связи с отсутствием гидростатического давления крови в невесомости.

6. Установлено, что человек после возвращения на Землю нуждается в посторонней помощи, которая и оказывается ему на месте посадки космического корабля.

7. ЦКР следует считать новым средством в системе профилактики неблагоприятного влияния невесомости в КП, которое направлено на создание гидростатического давления крови и весовой нагрузки на костно-мышечный аппарат. ЦКР не является универсальным средством профилактики и должна использоваться в сочетании с другими традиционными методами профилактики.

Список литературы

1. Сергеев А.А. Физиологические механизмы действия ускорений. Л., 1967.

Sergeev A.A. Physiological mechanisms of accelerations influence. Leningrad, 1967.

2. Газенко О.Г., Какурин Л.И. Космические полеты на кораблях «Союз». Биомедицинские исследования. М., 1976.

Gazenko O.G., Kakurin L.I. Space flights on the space vehicle «Soyuz». Biomedical researches. Moscow, 1976.

3. Васильев П.В., Котовская А.Р. Длительные линейные и радиальные ускорения. Совм. сов.-амер. изд.: В 3 т. / О.Г. Газенко (СССР), М. Кальвин. (США), ред. Основы космической биологии и медицины. 1975. Т. II. Кн. I. С. 177–231.

Vasiliev P.V., Kotovskaya A.R. Prolonged linear and radial acceleration. Joint Soviet-American edition in 3 v. / O. Gazenko (USSR), M. Calvin (USA), eds. 1975. V. II. B. I. P. 177–231.

4. Котовская А.Р., Вартбаронов Р.А. Длительные линейные ускорения // Космическая биология и медицина. Совм. рос.-амер. изд.: В 5 т. / В.В. Антипов, А.И. Григорьев (РФ), К. Лич Хантун (США), ред. 1997. Т. 3. Кн. 2. С. 10–67.

Kotovskaya A.R., Vartbaronov R.A. Prolonged linear acceleration // Joint Russian-American publication in 5 v. / V.V. Antipov, A.I. Grigoriev (Russia), K. Leach Hanton (USA), eds. 1997. V. 3. B. 2. P. 10–67.

5. Котовская А.Р., Лобашков С.И., Симпура С.Ф. и др. Влияние длительных поперечных ускорений на организм человека // Проблемы космической биологии. М., 1962. С. 238–245.

Kotovskaya A.R., Lobashkov S.I., Simpura S.F. The influence of long-term transverse accelerations on the human organism // Problems of space biology. Moscow, 1962. P. 238–245.

6. Лукьянюк В.Ю. Переносимость перегрузок лица нелетных профессий различного возраста, здоровыми и имеющими отклонения в состоянии здоровья в виде начальных признаков атеросклероза: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 1984.

Lukyanuk V.Yu. Acceleration' tolerance of humans non-flight occupation, different age, health and having deviations in health status in the form of initial symptoms of atherosclerosis: Avtoreferat dissertatsii ... kandidata meditsinskikh nauk. Moscow, 1984.

7. Виль-Вильямс И.Ф., Котовская А.Р., Морукон Б.В., Суханов Ю.В. Переносимость человеком перегрузок направления «грудь – спина» (+Gx) после антиортостатической гипокинезии длительностью 120, 240 и 360 суток // Авиакосм. и экол. мед. 1994. Т. 28. № 4. С. 12–16.

Vil-Viliams I.F., Kotovskaya A.R., Morukov B.V., Sukhanov Yu.V. Man's tolerance to chest – back accelerations (+Gx) following 120-, 240- and 360-day hypokinesia // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 1994. V. 28. № 4. P. 12–16.

8. Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф., Лукьянюк В.Ю. Физиологические реакции человека на действие перегрузок при выведении на орбиту и спуска на Землю космических кораблей «Союз» // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 6. С. 23–30.

Kotovskaya A.R., Vil-Viliams I.F., Lukyanuk V.Yu. Human's physiological responses to the accelerations during ascent and descent to Earth of space vehicle «Soyuz» // Human physiology. 2003. V. 29. № 6. P. 23–30.

9. Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф., Гаврилова Л.Н. и др. Переносимость человеком перегрузок направления +Gx на участке спуска с орбиты космических кораблей типа «Союз» при использовании противоперегрузочных костюмов // *Авиакосм. и экол. мед.* 1998. Т. 32. № 6. С. 30–36.
- Kotovskaya A.R., Vil-Viliams I.F., Gavrilova L.N. et al.* The human tolerance of man to +Gx acceleration during descent from the orbit of spacevehicle «Soyuz» with the use of anti-g suits // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 1998. V. 32. № 6. P. 30–36.
10. Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф. Переносимость космонавтами ОС «Мир» перегрузок +Gz // *Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина.* 2001. Т. 1. Гл. 13. С. 500–551.
- Kotovskaya A.R., Vil-Viliams I.F.* Tolerance to accelerations +Gz of OS «Mir» cosmonauts // *Orbital station «Mir». Space biology and medicine.* 2011. V. 1. Ch. 13. P. 500–551.
11. Котовская А.Р., Колотева М.И. Переносимость перегрузок космонавтами МКС // *Международная космическая станция. Российский сегмент. Космическая биология и медицина.* Воронеж, 2011. Т. 1. С. 236–267.
- Kotovskaya A.R., Koloteva M.I.* Tolerance to accelerations of ISS-cosmonauts // *International Space Station. Russian segment. Space biology and medicine.* Voronez, 2011. V. 1. P. 236–267.
12. Богомолов В.В., Гончаров И.Б., Богатова Р.И. и др. Медицинское обеспечение космонавтов-непрофессионалов, совершивших кратковременные космические полеты на Международной космической станции // *Авиакосм. и экол. мед.* 2008. Т. 42. № 1. С. 15–19.
- Bogomolov V.V., Goncharov I.B., Bogatova R.I. et al.* Medical support of non-professional cosmonauts, realized short-term space flights on the International space station // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2008. V. 42. № 1. P. 15–19.
13. Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф., Лукьянюк В.Ю., Катаев Ю.В. Переносимость космонавтами перегрузок +Gx в полетах на кораблях типа «Союз» в экспедициях МКС-1, 6–9 и ЭП 1–7 // *Там же.* 2005. Т. 39. № 5. С. 3–9.
- Kotovskaya A.R., Vil-Viliams I.F., Lukyanuk V.Yu., Kataev Yu.V.* +Gx-tolerance by the cosmonauts of ISS crews 1, 6–9 and visiting crews 1–7 aboard «Soyuz» vehicles // *Ibid.* 2005. V. 39. № 5. P. 3–9.
14. Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф. Особенности физиологических реакций космонавтов-непрофессионалов МКС на действие перегрузок +Gx в кратковременных космических полетах // *Там же.* 2007. Т. 41. № 3. С. 7–13.
- Kotovskaya A.R., Vil-Viliams I.F.* Regular physiological reactions to +Gx loads of nonprofessional members of short-term missions to the ISS // *Ibid.* 2007. V. 41. № 3. P. 7–13.
15. Котовская А.Р., Колотева М.И. Переносимость перегрузок космонавтами МКС // *Международная космическая станция. Российский сегмент. Космическая биология и медицина.* Воронеж, 2011. Т. 1. С. 236–267.
- Kotovskaya A.R., Koloteva M.I.* Tolerance to accelerations of ISS-cosmonauts // *International Space Station. Russian segment. Space biology and medicine.* Voronez, Nauchnaya kniga, 2011. T. 1. P. 236–267
16. Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф., Кокова Н.И., Провоторов Н.В. Проблемы переносимости человеком перегрузок применительно к участку спуска многоорбитального орбитального корабля // *Труды Первой Междунар. авиакосм. конф. «Человек – Земля – Космос».* (Москва, 28 сент. – 2 окт. 1992). М., 1995. Т. 7. С. 46–53.
- Kotovskaya A.R., Vil-Viliams I.F., Kokova N.I., Provotorov N.V.* Problems of human's tolerance to accelerations in relation to the descent of the reusable orbital vehicle // *Proceedings of the 1st International aerospace conference «Man – Earth – Space».* (Moscow, Sept. 28 – Oct. 2 1992). Moscow, 1995. V. 7. P. 46–53.
17. Кокова Н.И. Переносимость человеком медленно-нарастающих перегрузок направления «голова – таз» и эффективность применения водно-солевых добавок при различном функциональном состоянии организма: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 1985.
- Kokova N.I.* Humans tolerance to the slowly-increasing «head – pelvis» accelerations and effectiveness of water-salt supplements in different functional state of the organism: *Avtoreferat dissertatsii ... kandidata meditsinskikh nauk.* Moscow, 1985.
18. Кокова Н.И. Влияние водно-солевых добавок к рациону питания на переносимость перегрузок направления «голова – таз» после семисуточной «сухой» иммерсии и при обычных режимах двигательной активности // *Косм. биол. и авиакосм. мед.* 1984. Т. 18. № 4. С. 33–36.
- Kokova N.I.* The influence of water and salt supplements to the diet on acceleration's «head – pelvis» tolerance after a seven-day «dry» immersion with a normal physical activity // *Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina.* 1984. V. 18. № 4. P. 33–36.
19. Суворов П.М. Физиологические исследования на центрифуге в практике врачебно-лётной экспертизы в системе отбора: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 1969.
- Suvorov P.M.* Physiological studies on a centrifuge in the medical expert examination in the selection system: *Avtoreferat dissertatsii ... doktora meditsinskikh nauk.* Moscow, 1969.
20. Барер А.С., Охоботов А.А., Сорокина Е.Н., Тардов В.М. Некоторые патологические явления в органах малого таза после действия перегрузок +Gz большой величины и длительности // *Косм. биол. и авиакосм. мед.* 1986. Т. 20. № 6. С. 81–82.
- Barer A.S., Ochobotov A.A., Sorokina E.N., Tardov V.M.* Some pathological processes in organs of small pelvis after accelerations +Gz large magnitude and duration // *Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina.* 1986. V. 20. № 6. P. 81–82.
21. Котовская А.Р. Признаки негативных эффектов кумуляции у человека и животных при действии перегрузок разного направления применительно к практике авиационных и космических полетов // *Авиакосм. и экол. мед.* 2015. Т. 49. № 6. С. 14–18.

- Kotovskaya A.R.* Symptoms of negative effects cumulation in humans and animals under the action of G-loads of varying directions in context of aviation and space flights // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2015. V. 49. № 6. P. 14–18.
22. *White W.J.* Space-based centrifuge. Status Report. // Douglas Paper № 3436. Douglas Aircraft Company, Inc. Santa Monica, California, 1965.
23. *Адамович Б.А., Шульженко Е.Б., Ширяев Д.К. и др.* Устройство для создания искусственной силы тяжести в невесомости: Авторское свидетельство № 622247 от 6 мая 1978 г.
- Adamovich B.A., Shulzhenko E.B., Shiryayev D.K. et al.* The device used to create artificial gravity in weightlessness: Inventors certificate № 622247. 1978. May 6.
24. *Виль-Вильямс И.Ф., Шульженко Е.Б.* Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы после 3-суточной иммерсии и профилактических вращений на центрифуге короткого радиуса // *Физиология человека*. 1980. Т. 6. № 2. С. 323–327.
- Vil-Viliams I.F., Shulzhenko E.B.* The functional state of the cardiovascular system after 3-day immersion and preventive rotations in a centrifuge of short radius // *Human physiology*. 1980. V. 6. № 2. P. 32–327.
25. *Виль-Вильямс И.Ф., Шульженко Е.Б.* Реакция сердечно-сосудистой системы в условиях сочетанного воздействия 28-суточной иммерсии, вращений на центрифуге короткого радиуса и физиологической нагрузки на велоэргометре // *Косм. биол. и авиакосм. мед.* 1980. Т. 14. № 2. С. 42–45.
- Vil-Viliams I.F., Shulzenko E.B.* The reaction of the cardiovascular system under conditions of combined exposure to 28-day immersion, rotations in a short radius centrifuge and physiological loads on bicycle ergometer // *Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina*. 1980. V. 14. № 2. P. 42–45.
26. *Виль-Вильямс И.Ф., Шульженко Е.Б.* Реакция сердечно-сосудистой системы при периодическом воздействии перегрузок «голова – таз» на центрифуге короткого радиуса // Там же. № 1. С. 27–31.
- Vil-Viliams I.F., Shulzenko E.B.* The reaction of the cardiovascular system with periodical «head – pelvis» accelerations in the short-radius centrifuge // *Ibid.* № 1. P. 27–31.
27. *Виль-Вильямс И.Ф.* Исследование переносимости человеком перегрузок применительно к медицинскому обеспечению длительных космических полетов: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 1994.
- Vil-Viliams I.F.* Study of human's tolerance to the accelerations in relation to the medical support of prolonged space flights: Avtoreferat dissertatsii ... doktora meditsinskikh nauk. Moscow, 1994.
28. *Газенко О.Г., Генин А.М., Ильин Е.А.* Основные результаты эксперимента с млекопитающими на биоспутнике «Космос-782» // *Космическая биология*. 1978. Т. 12. № 6. С. 43–49.
- Gazenko O.G., Genin A.M., Ilyin E.A.* Main results of experiments with mammals on the bio-satellite «Kosmos-782» // *Kosmicheskaya biologiya*. 1978. V. 12. № 6. P. 43–49.
29. *Газенко О.Г., Ильин Е.А., Генин А.М., Котовская А.Р. и др.* Основные результаты физиологических экспериментов с млекопитающими на биоспутнике «Космос-936» // Там же. 1980. Т. 14. № 2. С. 22–25.
- Gazenko O.G., Ilyin E.A., Genin A.M., Kotovskaya A.R.* Main results of physiological experiments with mammals on the bio-satellite «Kosmos-936» // *Ibid.* 1980. V. 14. № 6. P. 22–25.
30. *Ильин Е.А., Генин А.М., Корольков В.И. и др.* Эксперименты с искусственной силой тяжести на биоспутнике «Космос-936» // *Авиакосмическая медицина*. М.; Калуга, 1979. Ч. I. С. 58–59.
- Ilyin E.A., Genin A.M., Korolkov V.I. et al.* Experiments with artificial gravity on bio- satellite «Kosmos-936» // *Aerospace medicine*. Moscow; Kaluga, 1979. P. I. P. 58–59.
31. *Котовская А.Р., Шипов А.А., Виль-Вильямс И.Ф.* Медико-биологические аспекты проблемы создания искусственной силы тяжести. М., 1996.
- Kotovskaya A.R., Shipov A.A., Vil-Viliams I.F.* Medico-biological aspects of problem of artificial gravity creation. Moscow, 1996.
32. *Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф., Гаврилова Л.Н. и др.* Влияние гравитационных нагрузок в условиях антиортостатической гипокинезии на гравитационную устойчивость обезьян макак-резус // *Авиакосм. и экол. мед.* 2001. Т. 35. № 5. С. 15–21.
- Kotovskaya A.R., Vil-Viliams I.F., Gavrilova L.N. et al.* The effect of G-loads on gravity tolerance of monkeys Macaca rhesus during hypokinesia // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2001. V.35. № 5. P. 15–21.
33. *Котовская А.Р.* Проблемы искусственной гравитации: состояние и перспективы // Там же. 2008. Т. 42. № 6. С. 74–83.
- Kotovskaya A.R.* The problem of artificial gravity: present status and possible approaches // *Ibid.* 2008. V. 42. № 6. P. 74–83.
34. *Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф.* Проблема физиологии ускорений и искусственной гравитации // *Космическая медицина и биология / А.И. Григорьев, И.Б. Ушаков, ред. Воронеж, 2013. С. 209–229.*
- Kotovskaya A.R., Vil-Viliams I.F.* Problem of acceleration physiology and artificial gravity // *Space medicine and biology / A.I. Grigoriev, I.B. Ushakov, eds. Voronezh, 2013. P. 209–229.*

Поступила 25.04.2017

HUMAN TOLERANCE OF G-LOADS IN SPACE MISSIONS AND ARTIFICIAL GRAVITY

Kotovskaya A.R.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 5. P. 5–21

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 159.9:629.78

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ МЕЖЛИЧНОСТНОГО ВОСПРИЯТИЯ И ЦЕННОСТЕЙ ОПЫТНЫХ КОСМОНАВТОВ – УЧАСТНИКОВ МЕЖДУНАРОДНЫХ ПОЛЕТОВ НА ОРБИТАЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ «МИР» И МКС

Виноходова А.Г.¹, Гуцин В.И.¹, Юсупова А.К.¹, Зюдфелд П.², Джонсон Ф.Дж.²

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

²Университет Британской Колумбии, Ванкувер, Канада

E-mail: vinokhodova@imbp.ru

В работе представлены результаты исследования межличностного восприятия участников международных космических полетов. Участвовали 20 российских космонавтов в возрасте 45–66 лет, совершивших 1–5 космических полетов и закончивших активную карьеру. Использовалась авторская методика PSPA, разработанная на базе техники репертуарных решеток и семантического дифференциала. Для изучения ценностей проводился контент-анализ наиболее значимых личностных конструктов с применением классификации Ш. Шварца (S. Schwartz). Исследование показало существование специфической иерархии ценностей, свойственных профессиональной культуре космонавтов и астронавтов. Установлено наличие позитивных этнических стереотипов – идеализации иностранных членов экипажей у той части космонавтов, восприятие которых было более интегрированным.

Ключевые слова: космический полет, международный экипаж, культура, ценности, сплоченность, межличностное восприятие.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 5. С. 22–30.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-5-22-30

Исследование содержания и сходства ценностных ориентаций космонавтов и астронавтов стало особенно актуальным на современном этапе развития космонавтики в связи с мультикультурным составом космических экипажей. Реализация долговременных, крупных и технологически сложных проектов освоения космического пространства, таких, как Международная космическая станция (МКС), требует кооперации как в космосе, так и на Земле людей различных национальных, организационных, религиозных и других культур, что обуславливает в конечном итоге возникновение процессов формирования новой единой профессиональной культуры космонавтов и астронавтов, определяющей результат их взаимодействия.

Существует множество определений культуры, но в них можно выделить основные характеристики:

во-первых, это культурные взаимодействия между людьми, во-вторых, культурные элементы, которые принимаются и разделяются носителями культуры [1]. Профессиональная культура отражает личностные аспекты культуры труда. Идеалы и ценности социальной группы являются ключевыми элементами любой, в том числе и профессиональной, культуры.

В связи с тем что мы изучаем межличностное восприятие, важным для работы является представление о субъективной культуре [1], в которую включаются способы категоризации (восприятия) и обозначения событий с помощью языка, связи между категориями, нормами, ролями, типами «Я-концепций» и ценностями. Когда установки и нормы общие для членов группы, они становятся частью ее культуры. Именно субъективная культура определяет поведение человека. Однако люди не осознают ее влияние на свое поведение до тех пор, пока не вступят в контакт с представителями другой культуры. Именно процессы категоризации (восприятия) при взаимодействии людей различных культур являются фактором, влияющим на то, как сложится это взаимодействие [2]. Категоризация с помощью языка – процесс, облегчающий восприятие малоизвестных объектов или людей, но приводящий к определенному упрощению, потере части информации и даже к появлению ошибок восприятия. Это известное явление, названное стереотипизацией, возникает из-за того, что человек в начале процесса взаимодействия не может охватить всю доступную ему информацию. Стереотипы упрощают процесс переработки информации, но в то же время приводят к искажениям и потерям значительной части полученной информации.

Кросскультуральные аспекты исследования ценностей

Кросскультуральные аспекты ценностей обычно изучают в рамках различения индивидуалистических

и коллективистских культур [3]. Одна из наиболее разработанных и широко применяемых классификаций для их изучения разработана Ш. Шварцем (S. Schwartz) [4]. Шварц просил респондентов – представителей 30 различных культур – ранжировать субъективную значимость каждой ценности как руководящего принципа в жизни. Исследование выявило, что в широком спектре культур постоянно повторялось выделение 10 групп ценностей, которые и были положены в основу классификации. Впоследствии он предложил различать индивидуальные ценности (*Гедонизм, Самоопределение, Стимуляция, Достижения, Власть*), коллективные (*Конформизм, Традиции, Доброжелательность*) и двойные, или смешанные, ценности (*Универсализм, Безопасность*) [5].

*Исследование ценностей в группах,
работающих в экстремальных условиях*

Требования, продиктованные экстремальными условиями и сложностью решаемых задач, обуславливают большую по сравнению с обычными группами потребность в поддержании внутригруппового согласия [6, 7] в условиях изоляции. В последнее время исследование в области психологии малых групп в экстремальных условиях ориентированы на изучение содержания субъективных факторов, значимых для функционирования группы и определяющих степень ее сплоченности, иными словами, разделяемых членами успешной команды ценностных ориентаций [8]. Дж. Стастер, К. Башляр и П. Зюдфелд (J. Stuster, C. Bachelard, P. Suedfeld) [9], описывая результаты контент-анализа личных дневников участников зимовки на французской антарктической базе, указывают, что чаще всего в записях встречались сообщения, относящиеся к «взаимоотношениям в группе», на 2-м месте (с большим отрывом от 1-го места) была категория «связь с внешним миром», на 3-м – «рабочая нагрузка». Подход, разработанный при анализе дневниковых записей французских зимовщиков, использовался далее в работе Дж. Стастера (J. Stuster) «Исследование психологических проблем, возникающих в долгосрочных космических полетах» [10]. Изучались дневниковые записи 10 американских астронавтов, мужчин и женщин, работавших на борту МКС. Для кодирования дневниковых записей использовали категории, выявленные в упомянутом выше исследовании на зимовщиках. Как отмечают авторы, ключевые различия между дневниками астронавтов и французских зимовщиков сводятся к гораздо более высокой значимости, придаваемой членами космических экипажей своей работе.

В исследовании П. Зюдфелда (P. Suedfeld) [11] был проведен количественный контент-анализ воспоминаний 7 астронавтов-мужчин, 3 астронавтов-женщин и 2 представителей администрации

НАСА с использованием в качестве категорий базовых человеческих ценностей, по классификации Ш.Шварца. Приводятся данные по 4 категориям: *Достижение, Гедонизм, Доброжелательность, Трансценденция* (комбинация *Духовности* и *Универсализма*). Показано, что после участия в космическом полете иерархия ценностей астронавтов изменилась. У астронавтов-мужчин произошло увеличение значимости категорий *Достижение, Гедонизм, Доброжелательность*, но наиболее выражен был рост значимости категории *Трансценденция*. У астронавтов-женщин значимость категорий *Достижение* и особенно *Гедонизм, Доброжелательность* снизилась после полета, а значимость категории *Трансценденция* возросла и стала наивысшей из всех категорий. Был сделан вывод, что опыт участия в космическом полете оказывает выраженное позитивное влияние на личность и систему ценностей астронавтов, в частности, способствует так называемому салютогенезу, или личностному росту [12].

Роль личностных ценностей для формирования сплоченной группы в условиях модельной изоляции исследовалась Г. Сандал и соавт. (G. Sandal et al.) [13]. Результаты работы продемонстрировали роль индивидуальных различий в ценностях как источника межличностного напряжения в изолированной малой группе, особенно при увеличении длительности полетов и повышении автономности экипажа.

*Методологические подходы к исследованию
ценностей культуры космонавтов*

Методы психосемантики и построение семантических пространств представляются наиболее адекватными и часто используются в кросскультуральных исследованиях [14, 15]. Они отражают «...отношения семантического сходства и различия с помощью метрического расстояния в n-мерном пространстве» [14], координатными осями которого являются свойственные испытуемым основания категоризации или формы обобщения. Применяемая в нашем исследовании методика является синтезом техники репертуарных решеток, основанной на теории личностных конструктов Дж. Келли (G. Kelly) [16] и семантического дифференциала Ч. Осгуда (C. Osgood) [17]. В качестве объектов для оценки ближайшего окружения обследуемые выбирали своих коллег – космонавтов и астронавтов, с которыми они осуществляли совместные космические полеты. Кроме того, они оценивали разные компоненты образа «Я» – «Я-реальное», «Я-идеальное» и «Я-прошлое». Такой список дает широкие возможности исследования взаимного восприятия и ценностных ориентаций в данной профессиональной группе.

Во-первых, проводимый в рамках методики факторный анализ позволяет с помощью процедур

контент-анализа выявить значимые, наиболее распространенные среди космонавтов ценности и требования, предъявляемые к себе и другим членам экипажа. Во-вторых, изучение содержания психологических характеристик, приписываемых образу идеального «Я», дает представление каким, с точки зрения представителей отряда космонавтов, должен быть идеальный член экипажа. В-третьих, наличие в экипажах иностранных участников позволяет исследовать сходство/различия в восприятии «своих» и «чужих» через сравнение их с образом «Я» и с идеалом, следовательно, увидеть те самые процессы категоризации во взаимодействии с представителями других культур, о которых шла речь выше. Сравнение персонажей с образом «Я-реального», направленное на оценку воспринимаемого сходства/различия с другими членами профессиональной группы (интернационального космического экипажа), обеспечивает изучение восприятия социальных дистанций, которые детерминированы различиями национальных культур. Так, например, Г. Триандис отмечает, что «у всех людей есть чувство социальной дистанции от внешних групп, то есть они чувствуют себя ближе к членам своей семьи и к тем, кого считают похожими на самих себя» [1].

Наконец, предлагаемый подход дает возможность изучать процессы искажения восприятия (вплоть до стереотипизации), которые могут проявляться в структуре оценок, характеризующейся рядом математических показателей. Особенности функционирования систем конструкторов описаны в классическом руководстве Ф. Франселлы (F. Fransella) и Д. Баннистера (D. Bannister) [18]. В нашем исследовании в качестве важного показателя мы выбрали нагрузку по первому фактору (определенному методом главных компонент), выявляющую меру интегрированности системы межличностного восприятия [18]. Первый фактор обычно объясняет большую часть суммарной дисперсии, а коэффициент корреляции конструктора с первым фактором дает представление о его личностной значимости. Мы предположили, что более интегрированное, упрощенное восприятие с большой вероятностью будет связано с процессами стереотипизации.

Методика

Исследование проводилось в Государственном научном центре РФ – Институте медико-биологических проблем РАН с участием 20 российских космонавтов, мужчин в возрасте 45–66 лет, совершивших от 1 до 5 космических полетов и закончивших активную карьеру.

Использовалась компьютерная методика PSPA (Personal Self-Perception and Attitudes) [19], которая была апробирована в многочисленных

экспериментах с длительной изоляцией по моделированию условий долговременного космического полета, а в настоящий момент применяется для мониторинга группового взаимодействия на борту МКС. Процедура, предназначенная для оценки восприятия членами экипажа друг друга, предполагает формирование самим обследуемым (а не экспериментатором, как это происходит при проведении стандартного анкетирования) биполярных шкал с критериями-антонимами (конструкторами). Таким образом, участники опираются в описании социального окружения на свой внутренний психологический язык и личностные, а не навязанные ценности, что существенно повышает точность метода оценки индивидуального восприятия.

На 1-м этапе космонавт – участник исследования – составлял список из 12 персонажей, куда мы просили включить 9 космонавтов и астронавтов, с которыми данный космонавт выполнял совместные полеты, к которым добавлялись 3 образа «Я» – «Я-образ» в настоящем, прошлом и будущем. В случае если данный космонавт участвовал в одном полете или в малочисленном экипаже, список персонажей дополнялся другими людьми, имеющими отношение к профессиональной деятельности обследуемого. Персонажи кодировались в целях соблюдения анонимности и конфиденциальности информации. Кроме того, мы просили с помощью определенных обозначений отметить российских и иностранных членов экипажа. На 2-м этапе обследуемый формулировал 12 пар критериев оценки персонажей (конструкторов), используя те свойства, которые кажутся ему наиболее значимыми в описании людей. Свойства в паре должны были представлять собой антонимы. Оценочные критерии должны были позволять различать большинство оцениваемых людей. Таким образом, из предложенных обследуемым космонавтом свойств формировались 12 пар биполярных шкал. На 3-м этапе производилась оценка персонажей по биполярным зрительно-аналоговым шкалам, образованным 12 парами оценочных критериев (конструкторов). Результаты оценивания выбранных персонажей и 3 образов «Я» подвергались факторному анализу (методом главных компонент), в целях определения глубинных (системных) признаков, на которых основаны самооценка космонавта и межличностное восприятие.

Необходимо подчеркнуть, что конфиденциальность служит основным требованием для психологических исследований с участием космонавтов и астронавтов. Данные методики PSPA хранились в базе, защищенной индивидуальными паролями, известными только респондентам и исследователям. Обеспечивалась анонимность всех обследуемых. В работе представлены только обобщенные данные, которые не могут быть отнесены к отдельным участникам исследования.

Таблица 1

Содержание фактора – пример выбора конструктов

№ п/п	Конструкты, входящие в один из факторов
11	любопытный – 0,647 – 41 % – статичный*
12	мечтатель – 0,475 – 22 % – реалист*
06	сообразительный – 0,409 – 16 % – глупый*
03	новичок – 0,228 – 5 % – опытный
04	веселый – 0,222 – 4 % – скучный
09	ленивый – 0,220 – 4 % – работающий

Примечание. * – конструкты, включенные в список для контент-анализа.

Методы обработки данных

Контент-анализ критериев межличностного восприятия

Контент-анализ сформулированных обследуемыми критериев (конструктов) проводился методом экспертных оценок с использованием классификации Ш. Шварца (S. Schwartz) [5], как наиболее часто используемой в кросскультуральных исследованиях. Участвовали 3 эксперта, имеющие ученую степень доктора или кандидата наук, которые независимо друг от друга относили каждый конструкт к одной из 10 смысловых групп, или категорий, обозначающих ценности. Процент совпадения мнений экспертов составил около 88 %. Для анализа содержания оценок, входящих в состав 1-й и 2-й главных компонент (факторов), были сформулированы списки биполярных критериев: из данных каждого обследуемого выбрали по 3 конструкта, имеющих наиболее высокую факторную нагрузку (корреляцию с общим фактором) в составе 1-й и 2-й главных компонент (табл. 1).

Значимыми считаются факторные нагрузки (положительные и отрицательные) в диапазоне 0,3–0,4 и выше [20]. Таким образом, контент-анализу подлежал список из 120 конструктов, отражающих различные личностные характеристики (3 конструкта x 2 фактора x 20 обследуемых).

Оценка «психологических дистанций» между членами группы на основе субъективно воспринимаемого сходства или различия

Программа PSPA обрабатывает матрицу оценок обследуемого с помощью факторного анализа (методом главных компонент), что позволяет определить позицию каждого персонажа в многомерной диаграмме из конструктов, а затем построить и визуализировать ее в виде двумерной решетки. Результаты каждого тестирования содержат проекции переменных (персонажей) на оси 2 первых главных компонент. В большинстве случаев первые 2 фактора доминируют в структуре оценок обследуемого,

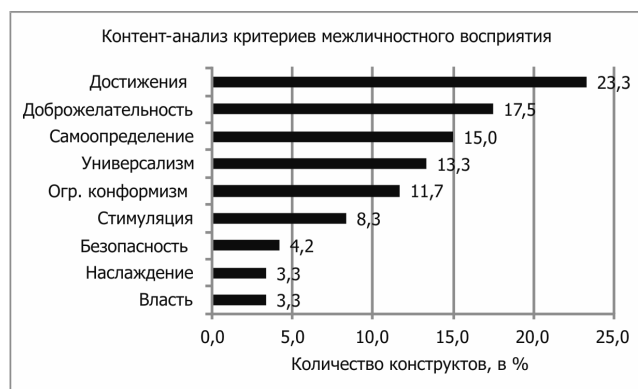


Рис. 1. Результаты контент-анализа наиболее значимых критериев оценки опытными космонавтами своего ближайшего профессионального окружения (членов экипажей и коллег по работе)

внося свой вклад, по крайней мере, в 70 % дисперсии оценок, и имеют устойчивый семантический состав. Для оценки «психологических дистанций» подсчитывалось количество персонажей (в %), расположенных соответственно на близкой, средней и далекой дистанции от образов «Я-реального» и «Я-идеального» в пространстве первых 2 факторов.

Результаты и обсуждение

Результаты анализа содержания межличностного восприятия по классификации Ш. Шварца

Критерии, входящие в состав первых 2 факторов с наибольшим коэффициентом корреляции, отражают содержание ценностей профессиональной культуры космонавтов, которые изучались через анализ восприятия опытными космонавтами своих товарищей по экипажу и других людей, связанных с их профессиональной деятельностью, и их сравнение с образом «Я-идеального». Рисунок 1 содержит результаты контент-анализа критериев межличностного восприятия (конструктов). Из рис. 1 видно, что наиболее представленной, а следовательно, и значимой для оценки окружающих людей является категория *Достижения* (23,3 % от общего списка критериев). К данной группе ценностей относятся такие характеристики, как успешный, трудолюбивый, целеустремленный, компетентный, эффективный, квалифицированный и т.п. На 2-м месте (17,5 %) находится категория *Доброжелательность*, в которую входят такие характеристики людей, как дружелюбный, честный, преданный, искренний, работающий на благо других и т.п. Третье место занимает категория *Самоопределение* (15 %), к которой относятся такие свойства, как независимость, творчество, самостоятельность, уверенность в себе, ум, любознательность.

Четвертое место (13,3 %) досталось категории *Универсализм*, которая включает характеристики,

Таблица 2

Данные о ценностных приоритетах опытных космонавтов, ретроспективно до начала карьеры и после участия в космическом полете

Ценности	До полета	После полета
Доброжелательность	5,66	6,00
Традиции	5,22	5,65
Духовность	5,15	5,69
Универсализм	5,15	5,50
Конформизм	5,10	5,25
Приватность	4,95	5,65
Самоопределение	4,78	5,48
Стимуляция	4,75	5,25
Безопасность	4,59	4,85
Власть	3,35	3,85
Наслаждение жизнью	3,05	3,80

Таблица 3

Математические показатели, характеризующие интегрированность структуры оценок ближайшего окружения в 2 группах опытных космонавтов

Показатели	Группа 1	Группа 2
Количество обследуемых	10	10
Средний возраст	52,40* (6,24)	61,67* (4,93)
Среднее количество совершенных космических полетов	2,90 (1,66)	2,67 (1,15)
Средний вес 1-го фактора	4,07** (0,44)	5,85** (0,40)
Средний вес 2-го фактора	2,76 (0,37)	2,46 (0,60)
Среднее количество сильных ($r > 0,75$) корреляций между конструктами	3,40** (2,76)	12,50** (3,55)
Среднее количество значимых ($r > 0,576$) корреляций между конструктами	12,00* (4,16)	28,50* (6,02)
Средний процент суммарной дисперсии, описываемой тремя первыми факторами	71,40 (3,50)	78,38 (5,39)

Примечание. В скобках указано стандартное отклонение; * – различия значимы для $p \leq 0,05$; ** – различия значимы для $p \leq 0,01$.

отражающие мудрость, самоуважение, внутреннюю гармонию, терпимость к различным идеям, единение с природой и стремление ее защищать, скромность, умеренность. На 5-м месте (11,7 %) находится категория *Ограничительный конформизм*, связанная с такими свойствами, как самодисциплина, аккуратность, исполнительность, вежливость, хорошие манеры. Затем следует категория *Стимуляция* (8,3 %), отражающая смелость, риск, поиск новизны и изменений. Далее примерно в одинаковой пропорции представлены категории *Безопасность* (надежность, ответственность), *Наслаждение жизнью* и *Власть* (право руководить, влияние на других).

Эти данные представляется возможным сравнить с результатами, полученными при анализе воспоминаний американских космонавтов [11]. Для этого возьмем послеполетные данные

астронавтов-мужчин, так как в нашем исследовании участвовали только мужчины. Если сравнивать иерархию ценностей американских астронавтов и российских космонавтов, можно увидеть достаточную согласованность результатов – значимость таких ценностей, как *Достижение*, *Благожелательность*, *Универсализм*, за исключением того, что у российских космонавтов среди наиболее выраженных не фигурирует категория *Наслаждение жизнью*, зато достаточно хорошо представлена категория *Ограничительный конформизм*. Эти расхождения в результатах исследований, скорее всего, объясняются влиянием факторов национальной и организационной культуры. Так, Н. Кэнас (N. Kanas) и Д. Манзей (D. Manzey) [21], описывая различия между американскими астронавтами и российскими космонавтами в восприятии различных аспектов космического полета (работа, досуг, психологическая поддержка



Рис. 2. Количество персонажей (в %) – российских (советских) членов экипажей, распределенное на основании величины дистанции по отношению к образам «Я-реального» и «Я-идеального» в 2 группах космонавтов



Рис. 3. Количество персонажей (в %) – иностранных членов экипажей, распределенное на основании величины дистанции по отношению к образам «Я-реального» и «Я-идеального» в 2 группах космонавтов

и т.п.), отмечают, что, возможно, эти различия отражают не только национальную, но также и организационную культуру, которая свойственна 2 разным космическим агентствам.

Сравнение содержания значимых критериев оценки профессионального окружения у опытных космонавтов с данными зимовщиков в Антарктиде показало, что наибольшей ценностью для них являются качества, обеспечивающие выполнение профессиональной деятельности, в отличие от зимовщиков, для которых наибольшей ценностью являлись взаимоотношения в группе [9]. Большое внимание космонавтов и астронавтов к вопросам, касающимся их деятельности, свидетельствует об исключительной напряженности графика их работы и сложности выполняемых в космосе операций, ее повышенной публичности и контролируемости извне, роли каждой ошибки для безопасности всего экипажа и их дальнейшей карьеры.

В табл. 2 представлены данные опросника базовых ценностей Шварца в группе опытных космонавтов [12]. Результаты по категории *Достижения* в статье не приводятся. Сравнение этих результатов с данными контент-анализа критериев межличностного восприятия (рис. 1) показывает принципиальное сходство, в частности, по категориям *Доброжелательности*, *Универсализма*, *Конформизма*, которые являются более значимыми и повышают свою ценность после участия в космическом полете. Исключение составляет категория *Традиции*, не представленная в иерархии значимости критериев межличностного восприятия. Это может объясняться тем, что данная категория относится в большой степени к ценностям национальной культуры, на изучение которых и направлен опросник Шварца. Метод PSPA изучает ценности культуры космонавтов через выявление профессионально важных личностных качеств.

Существенное сходство результатов, полученных с помощью 2 различных методов, показывает обоснованность применения классификации Ш. Шварца для анализа ценностей профессиональной культуры космонавтов.

Изучение восприятия опытными космонавтами российских (советских) и иностранных членов космических экипажей

В соответствии с нашей гипотезой интегрированность системы оценок ближайшего окружения является важным показателем, свидетельствующим об определенном упрощении восприятия ближайшего окружения. Применение методики PSPA на борту МКС показало, что космонавтам с более интегрированной структурой оценок свойственна идеализация иностранных членов экипажей, с одной стороны, а с другой стороны – более критическое отношение к российским членам экипажа и отдельным представителям Центра управления полетами [22].

В данном исследовании мы также изучали различия восприятия опытными космонавтами российских (советских) и иностранных членов экипажей в зависимости от степени интегрированности структуры межличностного восприятия. Для этого все обследуемые были разделены на 2 группы по 10 человек: группа 1 характеризовалась более дифференцированной, группа 2 – более интегрированной структурой межличностного восприятия. Для оценки достоверности различий между 2 группами использовался непараметрический U-критерий Манна – Уитни. Показатели интегрированности структуры оценок для каждой из групп представлены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что в группе 2 основные показатели интегрированности межличностного восприятия (вес 1-го фактора (критерий Манна – Уитни $U_{\text{эмп}} = 0$, $p \leq 0,01$), процент сильных

($U_{\text{эмп}} = 8, p \leq 0,01$) и значимых ($U_{\text{эмп}} = 21, p \leq 0,05$) корреляций между конструктами) значимо выше, чем в группе 1. Кроме того, возраст космонавтов данной группы был также значимо выше ($U_{\text{эмп}} = 27, p \leq 0,05$). Однако среднее количество совершенных космических полетов было примерно одинаковым в обеих группах.

На рис. 2 и 3 представлены данные о распределении персонажей на основании величины дистанции по отношению к образам «Я-реального» и «Я-идеального» в 2 группах космонавтов с разной степенью интегрированности структуры межличностного восприятия.

Из рис. 2 и 3 видно, что космонавты группы 1 (с более дифференцированной структурой межличностного восприятия) чаще воспринимали своих товарищей по экипажу (как российских, так и иностранных) как находящихся на средней дистанции от своего образа «Я», т.е. были более склонны к нейтральным, сдержанным оценкам. Космонавты группы 2 (с более интегрированной структурой межличностного восприятия) чаще описывали своих коллег как субъективно похожих или, наоборот, не похожих на свой образ «Я». Процент персонажей, попадавших в среднюю категорию, у них был существенно более низким, чем в группе 1 обследуемых. Космонавты этой группы были в большей степени склонны относить описываемых персонажей либо к категории близких, похожих на свой идеал, либо, наоборот, далеких от них, т.е. их восприятие было более контрастным, эмоционально окрашенным.

Рассмотрим восприятие обследуемыми российских (советских) членов экипажей (см. рис. 2). Для группы 1 количество оцениваемых персонажей, находящихся на близкой дистанции от образа «Я-реального», существенно ниже, чем для группы 2, зато их больше в категориях «средняя» и «далекая» дистанции. Для космонавтов группы 2 количество персонажей-россиян распределено примерно одинаково по всем 3 категориям (одинаковое количество «далеких» и «близких» к образу «Я-реального» и чуть больше персонажей, находящихся на средней дистанции). Небольшое расстояние между образами других членов группы и образом «Я-реального», или высокая степень воспринимаемого сходства, являются признаком роста групповой идентификации и может отражать более благоприятные межличностные отношения в экипаже. С другой стороны, часто такое «слияние» с другими наблюдается как раз в случаях слабой дифференциации оценок, когда большая часть персонажей, включая образы «Я», как бы «склеиваются» между собой. Подобная картина, скорее всего, может быть объяснена действием механизмов психологической защиты, избегания реального оценивания (обследуемый как бы декларирует «мы все хорошие», «мы все похожи друг на друга»). В целом, оценивая

дистанции между российскими членами экипажей и образами «Я-реального» обследуемых, можно констатировать, что космонавты группы 1 были более дистанцированы по отношению к своим коллегам, воспринимали их как менее похожих на себя. То же можно сказать и по поводу «Я-идеального»: группа 2 воспринимала чуть большее количество персонажей – российских членов своих экипажей, как «похожих» на свой идеал. Однако эти различия, вероятнее всего, отражают реальные взаимоотношения в экипажах.

Различия между группами наиболее заметны при рассмотрении восприятия иностранных участников космических полетов (см. рис. 3). Количество иностранцев, субъективно «близких», похожих на «Я-реальное», увеличивается по сравнению с восприятием россиян в обеих группах, но у группы 2 процент таких персонажей существенно выше, чем у группы 1 (38 % против 29 %). Наиболее ярко эти различия проявляются для дистанций с образом «Я-идеального»: космонавты группы 2 воспринимали 38 % персонажей – иностранных членов экипажей как похожих на свой идеал, против 24 % таковых для группы 1. Эти данные, в сочетании с достаточно большим количеством россиян, воспринимаемых как «далекие» от идеала, свидетельствуют о феномене идеализации иностранных участников космических полетов, представляющим собой случай «позитивных этнических стереотипов» [1]. Подобная идеализация другой культуры часто описывается как своеобразный «медовый месяц» – первая стадия межкультурной адаптации. При этом идеализация не столько является положительной оценкой, сколько отражением недостатка знаний и подменой их стереотипами. Полученные данные не согласуются с принятыми в социальной психологии представлениями об этноцентризме, т.е. предпочтении собственной этнической группы относительно иностранцев [3]. Это явление связано с «ингрупповым фаворитизмом» – механизмом психологической защиты, который позволяет сохранять групповую идентичность [23]. Однако необходимо подчеркнуть, что проявления как ингруппового фаворитизма, так и аутгрупповой агрессии были описаны для ситуации межгруппового соревнования. В случае экипажа космического корабля доминировала ситуация сотрудничества, а не конкуренции. Если 2 группы активно сотрудничают, то, скорее всего, они будут иметь положительные стереотипы восприятия по отношению друг к другу [1].

Выводы

1. Исследование межличностного восприятия опытных космонавтов показало существование особой иерархии ценностей, которая является

признаком профессиональной культуры космонавтов. Такие ценности, как высокая работоспособность, поддержание определенных стандартов социального поведения, основываются на их высокой самооценке, предприимчивости и духовности. Эта культура сформировалась как результат не только участия в космическом полете, но и соответствия определенным профессиональным требованиям во время специализированного отбора и подготовки космонавтов. Данная профессиональная культура по всей видимости – интернациональна, так как сходные данные получены и в исследованиях с участием американских астронавтов.

2. Обнаружены различия межличностного восприятия, связанные с влиянием фактора национальной культуры, – большая значимость ценностей ограничительного конформизма и меньшая по сравнению с американскими астронавтами представленность ценностей удовольствия и наслаждения жизнью.

3. Анализ различий в восприятии «своих» и «чужих» членов космических экипажей позволил выявить признаки наличия позитивных этнических стереотипов – идеализации иностранцев – участников космических полетов у группы обследуемых, восприятие которых в целом было более интегрированным. Сходные результаты получены и в исследованиях межличностного восприятия действующих космонавтов в условиях реальных полетов на МКС. Данный вид стереотипизации восприятия хотя и не несет в себе негативных моментов, однако является признаком недостаточного знакомства с другой культурой, характерного для начальных этапов межкультурной адаптации.

4. Полученные результаты должны быть учтены при подготовке рекомендаций по развитию системы психологической подготовки космонавтов к длительным, в том числе межпланетным, полетам в составе многонациональных экипажей.

Исследование выполнено при поддержке гранта Канадского космического агентства № 027SR.9F007-052251 и гранта РГНФ (проект № 12-06-00928).

Список литературы

1. Триандис Г.К. Культура и социальное поведение: Пер. с англ. М., 2007.
Triandis H.C. Culture and social behavior: Transl. from Engl. Moscow, 2007.
2. Андреева Г.М. Психология социального познания. М., 1997.
Andreeva G.M. Psychology of social cognition. Moscow, 1997.
3. Стефаненко Т.Г. Этнопсихология. М., 1999.
Stephanenko T.G. Ethno-psychology. Moscow, 1999.
4. Schwartz S.H. Universals in the content and structure of values: Theoretical advances and empirical tests in 20 countries // *Adv. in Exper. Social Psychol.* / M. Zanna, ed. N.Y., 1992. V. 25. P. 1–65.
5. Schwartz S.H. Value orientations: Measurement, antecedents and consequences across nations // *Measuring attitudes cross-nationally – lessons from the European Social Survey* / R. Jowell, C. Roberts, R. Fitzgerald, G. Eva, eds. London, 2006.
6. Новиков М.А. Психофизиологические и экопсихологические аспекты межличностного взаимодействия в автономных условиях // *Проблемы общения в психологии* / Б.Ф. Ломов, ред. М., 1981. С. 178–217.
Novikov M.A. Psychophysiological and eco-psychological aspects of interpersonal interaction in autonomous conditions // *Problems of communications in psychology* / D.F. Lomov, ed. Moscow, 1981.
7. Harrison A.A., Connors M.M. Groups in exotic environments // *Adv. in Exper. Social Psychol.* 1984. V. 18. P. 49–87.
8. Дикая Л.Г. Психологические исследования функциональных состояний космонавтов: достижения и перспективы // *Психологический журнал.* 2014. № 5. С. 37–50.
Dikaya L.G. Psychological researches of cosmonauts' functional states: achievements and perspectives // *Psikhologicheskii zhurnal.* 2014. № 5. P. 37–50.
9. Stuster J., Bachelard C., Suedfeld P. In the wake of the Astrolabe: review and analysis of diaries maintained by the leaders and physicians at French remote duty stations // *Technical Report to the NASA.* 1999. <http://www.anacapasciencewsw.com/publications/Astrolabe.pdf>.
10. Stuster J. Behavioral issues associated with long duration space expeditions: review and analysis of astronaut journals. Final report to NASA (July 2010).
11. Suedfeld P. Space memoir: Value hierarchies before and after mission – a pilot study // *Acta Astronaut.* 2006. V. 58. P. 583–586.
12. Suedfeld P., Brcic J., Johnson Ph.J., Gushin V. Personal growth following long-duration spaceflight // *Ibid.* 2012. V. 79. P. 118–123.
13. Sandal G.M., Bye H.H., van de Vijver F.J.R. Personal values and crew compatibility: Results from a 105 days simulated space mission // *Ibid.* 2011. V. 69. P. 141–149.
14. Петренко В.Ф. Основы психосемантики. 3-е издание. М., 2010.
Petrenko V.F. Fundamentals of psychosemantics. 3d ed. Moscow, 2010.
15. Шмелев А.Г. Многомерный статистический анализ в межкультурных и дифференциально-психологических исследованиях // *Статистические методы в общественных науках.* М., 1982.
Shmelev A.G. Multivariate statistical analysis in intercultural and differential-psychological studies // *Statistical methods in the social sciences.* Moscow, 1982.

16. Kelly G.A. A theory of personality: the psychology of personal constructs. N.Y., 1963.

17. Osgood C.E., Tzeng O.C.S. Language, meaning, and culture: the selected papers of C.E. Osgood. N.Y., 1990.

18. Франселла Ф., Баннистер Д. Новый метод исследования личности: Пер. с англ. М., 1987.

Fransella F., Bannister D. A manual for repertory grid technique: Transl. from Engl. Moscow, 1987.

19. Gushin V.I., Efimov V.A., Smirnova T.M., Vinokhodova A.G., Kanas N. Subject's perception of the crew interaction dynamics under prolonged isolation // Aviat. Space and Environ. Med. 1998. V. 69. P. 556–561.

20. Купер К. Индивидуальные различия: Пер. с англ. М., 2001.

Cooper C. Individual differences: Transl from Engl. Moscow, 2001.

21. Kanas N., Manzey D. Space psychology and psychiatry. 2nd ed. 2008.

22. Vinokhodova A.G., Gushin V.I. Study of values and interpersonal perception in cosmonauts on board of International space station // Acta Astronaut. 2014. V. 93. P. 359–365.

23. Агеев В.С. Психология межгрупповых отношений. М., 1984.

Ageev V.S. Psychology of inter-group relations. Moscow, 1984.

Поступила 30.05.2017

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF INTERPERSONAL PERCEPTION AND VALUES OF EXPERIENCED COSMONAUTS – MEMBERS OF MULTINATIONAL MISSIONS TO THE ORBITAL STATIONS «MIR» AND THE ISS

Vinokhodova A.G., Gushchin V.I., Yusupova A.K., Suedfeld P., Johnson Ph.J.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 5. P. 22–30

The paper reports the results of investigating interpersonal perception by members of multinational space missions. Participants were 20 Russian cosmonauts aged 45 to 66 years who had completed the flight carrier after 1 to 5 missions. An author PSPA-test, a synthesis of the repertory grids and semantic differential, was applied. Content-analysis of the most important personal constructs and S. Schwartz classification were used to assess values. The investigation proved existence of a hierarchy of values specific to the professional culture of cosmonauts and astronauts. Positive ethnic stereotypes or idealization of foreign crew members were peculiar to cosmonauts with a more integrated perception.

Key words: space mission, multinational crew, culture, values, cohesion, interpersonal perception.

УДК 51-76:613.2.038

МОДЕЛИРОВАНИЕ СУТОЧНОГО НАБОРА ПРОДУКТОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БИОРЕГЕНЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЕ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ЛУННОЙ БАЗЕ

Ковалёв В.С.¹, Мануковский Н.С.¹, Тихомиров А.А.¹, Лю Хун², Фу Юймин²

¹Институт биофизики СО РАН ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН», г. Красноярск

²Пекинский университет авиации и космонавтики, Китай

E-mail: kovalev49@mail.ru

С помощью компьютерной программы из 41 продукта-кандидата растительного и животного происхождения компоновали суточный набор продуктов (СНП), предназначенный для использования в биорегенеративной системе жизнеобеспечения (БСЖО). Целевыми функциями моделирования являлись число продуктов (ЧП) в СНП и максимизация коэффициента автономности (КА): доли массы продуктов, производимых в БСЖО, в общей массе потребляемых продуктов. Максимальный КА составил 0,9885 при наличии в СНП 21 продукта. Ввод в СНП большего или меньшего ЧП сопровождался уменьшением КА. Без нарушения норм питания ЧП уменьшали до 13, причем КА при этом составлял 0,9340. Включение в СНП всех продуктов-кандидатов было возможно при КА, равном 0,9702.

Ключевые слова: биорегенеративная система жизнеобеспечения, суточный набор продуктов, нутриент, моделирование, коэффициент автономности, число продуктов.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 5. С. 31–35.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-5-31-35

Затратность экспедиций посещения на обитаемую лунную базу будет обуславливать актуальность воспроизводства пищевых продуктов в биорегенеративной системе жизнеобеспечения (БСЖО). При этом чем больше будет доля продуктов внутрисистемного производства в их общей массе, тем меньше будет потребность в экспедициях посещения для пополнения пищевых запасов.

Предложен суточный набор продуктов (СНП), состоящий из риса, соевых бобов, салата, земляники и мяса улитки для использования в БСЖО на лунной базе [1]. По мнению авторов, СНП, состоящий из 5 продуктов и производимый в БСЖО, обеспечивал выполнение норм питания. Однако данный СНП проблематично рекомендовать для длительного использования вследствие минимального пищевого разнообразия.

Также, для использования в БСЖО на лунной базе предложен набор, состоящий из 21 продукта

[2], соответствующий нормам питания для населения КНР [3] и рассматриваемый нами как базовый СНП.

Целью работы являлось увеличение коэффициента автономности СНП в компьютерном моделировании за счет использования дополнительных продуктов-кандидатов.

Методика

Список, составленный из продуктов базового СНП и дополнительных продуктов, включал пекинскую капусту, листовую свеклу, шпинат, салат Романо, салат краснокочанный, салат-латук, батат, воду, арахисовое масло, масло чуфы, грибы вешенки, грибы шиитаке, зерно пшеницы, зерно риса, красный перец, морковь, томаты, редис, соевое молоко, проростки сои, тыкву, семена тыквы, лук, чеснок, муку чуфы, мясо перепела, яйца перепела, свинину, мясо улитки, телятину, козье молоко, сардины, скумбрию, креветки, мясной соус, мясо индейки, говядину, рыбий жир, гречневую ядрицу, поваренную соль и сахар. Включение в список гречневой ядрицы и продуктов животного происхождения обусловлено, тем, что эти продукты содержат полноценный белок. Мука, приготовленная из клубеньков чуфы, хорошо зарекомендовала себя как пищевая добавка в рационе экипажа «БИОС-3» [4]. Гриб шиитаке может быть полезен как источник пантотеновой кислоты и витамина D.

Продукты в списке от пекинской капусты до козьего молока предполагали производить в БСЖО. Все растения и животные – источники этих продуктов являются кандидатами для выращивания в БСЖО [5–12]. Остальные продукты предполагали отбирать в СНП из запасов.

Компьютерное моделирование проводили в среде Excel 2016 – Visual Basic for Applications с помощью надстройки Premium Solver Platform.

Целевыми функциями моделирования являлись максимизация коэффициента автономности (КА),

а также максимизация и минимизация числа продуктов (ЧП) в СНП. Для нахождения экстремальных значений целевых функций использовали метод обобщенного приведенного градиента в решении задач однокритериальной оптимизации.

КА определяли по формуле

$$KA = M_{in} / M_t$$

где M_{in} – масса продуктов в составе СНП, производимых в БСЖО, г; M_t – общая масса СНП, г.

Общую массу СНП принимали равной 4017 г (таблица) в соответствии с количеством пищи, потребляемой испытуемыми на 2-м этапе эксперимента в «БИОС-3» [5].

Общую массу СНП (M_t) вычисляли по формуле

$$M_t = d_1 \times p_1 + d_2 \times p_2 \dots + d_j \times p_j + d_v \times p_v$$

где $p_1, p_2 \dots p_j \dots p_v$ – массы продуктов; $d_1, d_2 \dots d_j \dots d_v$ – двоичные переменные; v – число продуктов-кандидатов в расширенном списке; j – порядковый номер j -го продукта в списке, причем $1 \leq j \leq v$.

Массу продуктов, производимых в БСЖО, рассчитывали по формуле

$$M_{in} = a_1 \times d_1 \times p_1 + a_2 \times d_2 \times p_2 \dots + a_j \times d_j \times p_j + a_v \times d_v \times p_v$$

где $a_1, a_2 \dots a_j \dots a_v$ – коэффициенты автономности продуктов; $a_j = 0$, если продукт находился в запасах; $a_j = 1$, если продукт производился в БСЖО.

Отбор продуктов-кандидатов из списка в СНП компьютерная программа осуществляла посредством двоичных переменных. При $d_j = 0$ продукт p_j не отбирался в СНП, поскольку его масса обнулялась.

Массу n_i i -го нутриента в СНП определяли по формуле

$$n_i = \sum_1^v \frac{s_{ij} \times d_j \times p_j}{100}$$

где s_{ij} – масса i -го нутриента в 100 г j -го продукта, причем $1 \leq i \leq u$, где u – число учитываемых нутриентов.

К учитываемым нутриентам были отнесены вода, белки, жиры, углеводы, волокна, Ca, Fe, Mg, P, K, Na, Zn, Cu, Mn, Se, аскорбиновая кислота, тиамин, рибофлавин, ниацин, пантотеновая кислота, пиридоксин, фолиевая кислота, цианкобаламин, ретинол, альфа-токоферол, кальциферол, витамин К, насыщенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты, триптофан, треонин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, цистеин, фенилаланин, тирозин, валин. Численные величины масс нутриентов в 100 г продуктов находили в открытых

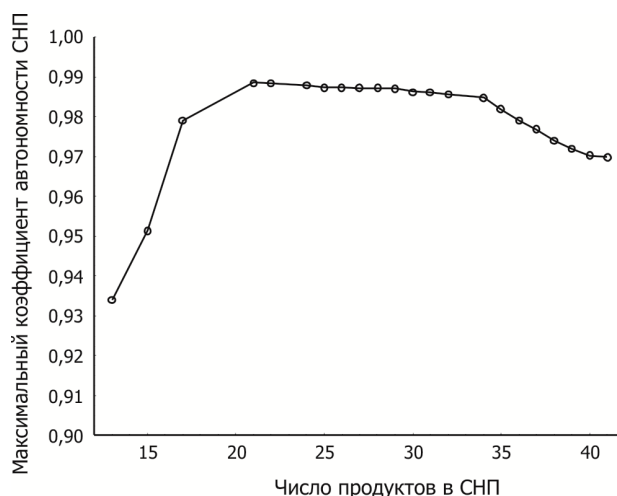


Рисунок. Расчетная зависимость между числом продуктов в моделируемом СНП и максимальным коэффициентом его автономности

базах данных: USDA National Nutrient Database for Standard Reference, SELF Nutrition Data, Fodevaredata, European Food Composition Tables.

На область изменения масс нутриентов накладывали ограничение $ln_i \leq n_i \leq un_i$, где ln_i – нижний предел для массы i -го нутриента, а un_i – верхний предел, определяемые российско-американскими нормами питания для космонавтов на Международной космической станции (МКС) [13]. Нормы употребления некоторых нутриентов в этой работе заданы одним числом без интервала. Использование «точных» норм приводило к отказу компьютерной программы формировать СНП. Поэтому величины точно заданных норм принимали за нижнюю границу интервала, а верхнюю границу назначали по величинам предельно допустимого употребления нутриентов [14, 15]. Пищевую ценность белков определяли по аминокислотной шкале Комитета ФАО/ВОЗ [16].

Энергетическую ценность СНП принимали равной 2800 ккал в соответствии с суточным расходом энергии испытуемых в комплексе «БИОС-3» [5] и предполагаемыми энергозатратами обитателя лунной базы [17]. Расчет калорийности СНП проводили по формуле Атватера

$$E = 4 \times [\text{protein}] + 9 \times [\text{fat}] + 4 \times [\text{carbohydrate}],$$

где [protein], [fat], [carbohydrate] – массы белков, жиров и углеводов в СНП.

Независимыми переменными в модели являлись массы продуктов-кандидатов p_j и число продуктов в СНП, причем число продуктов было ≤ 41 . На область изменения масс продуктов накладывали ограничение: $lp_j \leq p_j \leq up_j$, где lp_j и up_j – верхний и нижний пределы массы j -го продукта соответственно.

Исходные данные и результаты моделирования СНП

Показатели	Наборы продуктов	
	Базовый	Моделируемый
Число продуктов-кандидатов*	21	41
Масса СНП, г*	4017	4017
Число пищевых дисбалансов	4	1
Максимальный КА для СНП	0,9161	0,9885
Максимальное / минимальное ЧП в наборе	21/15	41/13
Число продуктов в СНП при максимальном КА	17	21

Примечание. * – исходные данные.

Определение минимального и максимального числа продуктов в СНП проводили при наложении ограничений на массу продуктов и нутриентов, а также на общую массу и калорийность СНП. Таким образом, получали 2 крайние точки по оси «Число продуктов в СНП» (рисунок), которые соответствовали минимальному и максимальному числу продуктов в СНП. При этом значения КА в крайних точках программа насчитывала как сопутствующий показатель. Промежуточные точки на графике получали с помощью расчета максимальных значений КА для различных значений ЧП в интервале от наименьшего до наибольшего значения ЧП при ограничениях, указанных выше.

Результаты и обсуждение

В базовом и моделируемом СНП выявлен пищевой дисбаланс, обусловленный избытком железа. Чтобы устранить дисбаланс, необходимо уменьшить количество железа в СНП не менее чем на 2,7 мг. На практике избыточное количество железа в суточном рационе, около 21 мг при норме 10 мг, отмечено в пище экипажей МКС [18]. Помимо избытка железа в базовом СНП выявлены еще 3 пищевых дисбаланса: дефицит рибофлавина и альфа-токоферола, а также диспропорция в нормативном соотношении масс 1:(1,5–2):1 насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот [13]. Остальные характеристики базового СНП представлены в таблице.

Максимальное значение КА моделируемого СНП составляло 0,9885 при наличии в нем 21 продукта, как и в базовом наборе (см. табл.). Однако, состав наборов отличался. В моделируемом наборе из запасов были отобраны: поваренная соль – 2 г, сафлоровое масло – 22 г и сахар – 22 г. Продукты внутрисистемного производства были представлены в следующих количествах: пекинская капуста – 110 г, салат Романо – 109 г, батат – 250 г, вода – 2214 г, арахисовое масло – 0,5 г, масло чуфы – 44 г, грибы шиитакэ – 6 г, зерно пшеницы – 131 г, зерно

риса – 200 г, перец – 17 г, морковь – 6 г, семена тыквы – 18 г, лук – 6 г, мясо перепела – 98 г, яйца перепела – 13 г, мясо улитки – 13 г, тилипия – 68 г, козье молоко – 667 г. Без нарушения норм питания минимальное и максимальное ЧП можно установить равными 13 и 41 соответственно. Наиболее низкое значение КА (0,9340) получено при минимальном числе продуктов (см. рис.).

При увеличении ЧП от 13 до 21 наблюдался рост КА до максимальной величины. Увеличение ЧП от 21 до 34 не приводило к увеличению КА. Снижение КА при использовании 35 и более продуктов до 0,9702 происходило вследствие включения в СНП запасаемых продуктов.

Полноценность белка и выполнение требования «масса животного белка/масса растительного белка 60 : 40» в СНП [13] могли обеспечиваться за счет использования продуктов, производимых в БСЖО.

Наиболее востребованными салатными растениями были пекинская капуста и салат Романо. Остальные салатные растения-кандидаты могли быть использованы для увеличения пищевого разнообразия.

Установлено, что в СНП обязательно присутствие сафлорового масла в сочетании с маслом чуфы. Использование арахисового масла возможно, но необязательно. Сафлоровое масло содержит 74,6 г полиненасыщенных жирных кислот на 100 г масла, тогда как масла арахиса и чуфы содержат только 23,7 и 16,9 г соответственно. Поэтому для выполнения соотношения масс 1:(1,5–2):1 между насыщенными, мононенасыщенными и полиненасыщенными жирными кислотами [13] сафлоровое масло оказалось незаменимым источником полиненасыщенных жирных кислот.

Чтобы увеличить максимальную расчетную величину КА, равную 0,9885, необходимо либо уменьшать массу запасаемых продуктов в СНП, либо уменьшать их число за счет производства в БСЖО. Количество сахара в СНП возможно снизить с 22 до 10 г. Однако при этом КА снижался с 0,9885 до 0,9456 вследствие включения в СНП запасаемых

продуктов: консервированной ставриды – 13 г, креветок – 63 г, мясного соуса – 29 г, мяса индейки – 78 г, рыбьего жира – 2 г. Производство сахара в БСЖО в настоящее время представляется проблематичным. Перевод сафлорового масла в продукты внутрисистемного производства возможен после отработки технологии выращивания сафлора и получения масла в условиях БСЖО. Решение вопроса о производстве поваренной соли зависит от способа утилизации мочи в БСЖО. При осуществлении рециклинга мочи поваренную соль можно регенерировать одним из известных способов.

Производство продуктов в БСЖО на лунной базе будет, по-видимому, очень затратным, поэтому связь между автономностью питания и стоимостью содержания БСЖО является предметом исследования. Известен подход к моделированию минимизации затрат с помощью расчета эквивалентной системной массы БСЖО [19]. Параметры модели определяли на Земле. Следует ожидать, что на других планетах параметры будут иными и расчетная оптимальная конфигурация БСЖО окажется ошибочной. Более того, неизвестно, являются ли условия на Луне приемлемыми для жизни растений и животных-кандидатов. Поэтому разделение пищевых продуктов на запаасаемые и производимые в БСЖО и как следствие расчеты коэффициента автономности СНП носили в нашей работе условный характер. Проверка возможности существования и размножения растений и животных-кандидатов на Луне послужила бы актуализации работ по моделированию рациона и проектированию БСЖО для обитаемой лунной базы.

Выводы

С помощью компьютерной программы показана возможность увеличить коэффициент автономности СНП с 0,9161 в базовом варианте до 0,9885 в моделируемом варианте при выполнении норм питания, рекомендованных для применения на МКС, за исключением нормы на верхний предел суточного потребления железа.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 56.1.4 программы фундаментальных исследований (раздел 6) Российской академии наук на 2013–2020 гг.

Список литературы

1. Midorikawa Y., Fujii T., Ohira A. et al. CELSS nutrition system utilizing snails // *Acta Astronaut.* 1993. V. 29. P. 645–650.
2. Liu Hong, Yu Chengying, Manukovsky N.S. et al. A conceptual configuration of the lunar base bioregenerative life support system including soil-like substrate for growing plants // *Adv. Space Res.* 2008. V. 42. № 6. P. 1080–1088.
3. Hu Enzhu, Bartsev S.I., Liu Hong Conceptual design of a bioregenerative life support system containing crops and silkworms // *Adv. Space Res.* 2010. V. 45. P. 929–939.
4. Окладников Ю.Н., Воркель Я.Б., Трубочёв И.Н. и др. Включение в рацион человека чужфы как источника полиненасыщенных жирных кислот // *Вопросы питания.* 1977. № 3. С. 45–48.
5. Okladnikov Yu.N., Vorkel' Ya.B., Trubachev I.N. et al. Inclusion of chufa in a diet as source of polyunsaturated fatty acids // *Voprosy pitaniya.* 1977. № 3. P. 45–48.
6. Замкнутая система: человек – высшие растения / Г.М. Лисовский, ред. Новосибирск, 1979.
7. Closed system: man – higher plants / G.M. Lisovskiy, ed. Novosibirsk, 1979.
8. Blum V. Aquatic modules for bioregenerative life support systems: developmental aspects based on the space flight results of the C.E.B.A.S. mini-module // *Adv. Space Res.* 2003. V. 31. № 7. P. 1683–1691.
9. De Micco V., Aronne G., Colla G. et al. Agro-biology for bioregenerative life support systems in long-term space missions: general constraints and the Italian efforts // *J. Plant Interact.* 2009. V. 43. № 4. P. 241–252.
10. Minagawa H., Sato M., Sano K. et al. Mushroom cultivation on the substrate made of goat feces and supplementary hay // *Eco-Engineering.* 2010. V. 22. № 2. P. 63–68.
11. Nelson M., Pechurkin N.S., Allen J.P. et al. Closed ecological systems, space life support and biospherics // *Handbook of Environmental Engineering / L.K. Wang et al., eds.* N.Y., 2009. V. 10. P. 517–565.
12. Salisbury B., Clark M.A.Z. Suggestions for crops grown in controlled ecological life-support systems, based on attractive vegetarian diets // *Adv. Space Res.* 1996. V. 18. № 4/5. P. 33–39.
13. Tako Y., Arai R., Tsuga S. et al. CEEF: Closed Ecology Experiment Facilities // *Gravit. Space Biol.* 2010. V. 23. № 2. P. 13–24.
14. Zibrin M., Cigankova V., Kocisova J. et al. Effect of short-term space flight on structure of liver, lungs, bone and bone marrow of Japanese quail hatched on orbital station «Mir» // *Acta Vet.* 2005. V. 74. P. 167–174.
15. Агуреев А.Н., Клоэрис В.Л., Зварт С.Р. и др. Система питания // *Космическая биология и медицина / И.Д. Пестов (РФ), Ч.Ф. Соуэн, Н.Г. Хаус, С.И. Хансон (США), ред. М., 2009. Т. 5. С. 477–498.*
16. Agureev A.N., Kloeris V., Zwart S.R. et al. Nutrition for International Space Station crews // *Space biology and medicine / I.D. Pestov (RF), C.F. Sawin, N.G. House, S.I. Hanson (USA), eds.* Moscow, 2009. V. 5. P. 477–498.
17. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. МР 2.3.1.2432-08. 2008.
18. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Methodical recommendations. MR 2.3.1.2432-08. 2008.

15. Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals / Scientific Committee on food scientific panel on dietetic products, nutrition and allergies. European Food Safety Authority. 2006. <http://www.efsa.eu.int>.

16. Скурихин И.М., Нечаев А.П. Все о пище с точки зрения химика. М., 1991.

Skurikhin I.M., Nechaev A.P. Everything about food in view of chemist. Moscow, 1991.

17. Nitta K., Ohya H. Lunar base extension program and closed loop life support systems // Acta Astronaut. 1991. V. 23. P. 253–262.

18. Агуреев А.Н., Каландаров С., Васильева В.Ф. и др. Питание экипажей длительных экспедиций на Международной космической станции // Авиакосм. и экол. мед. 2004. Т. 38. № 5. С. 19–23.

Agureev A.N., Kalandarov S., Vasil'eva V.F. et al. Nutrition of crews of long-term missions on the International Space Station // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2004. V. 38. № 5. P. 19–23.

19. Czupalla M., Horneck G., Blome H.J. The conceptual design of a hybrid life support system based on the evaluation and comparison of terrestrial testbeds // Adv. Space Res. 2005. V 35. P. 1609–1620.

Поступила 14.04.2017

MODELING OF THE DAILY FOOD BASKET FOR INCLUSION IN A BIOGENERATIVE LIFE SUPPORT SYSTEM IN A LUNAR OUTPOST

Kovalev V.S., Manukovsky N.S., Tikhomirov A.A., Liu Hong, Fu Yuming

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 5. P. 31–35

Computer modeling was undertaken to compose the daily food basket (DFB) from 41 potential plant and animal products for a bioregenerative life support system (BLSS). The modeling had the objectives to define the number of products (PN) in DFB and to estimate maximal coefficient of autonomy (AC): a ratio between mass of products produced in BLSS and total food mass. Maximal AC of 0.9885 was reached due to DFB containing 21 foodstuffs. Increase and reduction of PN decreased AC equally. PN reduction to 13 with AC = 0.9340 did not infringe nutritional standards. Inclusion of all potential products was possible with AC = 0.9702.

Key words: bioregenerative life support system, daily food basket, nutrient, modeling, coefficient of autonomy, number of products.

УДК 612.1+001.891.57

ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И МИНЕРАЛЬНОГО ОБМЕНА КРОВИ ПРИ ВЕЛОЭРГОМЕТРИИ У НЕТРЕНИРОВАННЫХ МУЖЧИН И ТРЕНИРОВАННЫХ ТЯЖЕЛОАТЛЕТОВ

Степанова Г.П.¹, Давыдов Б.В.^{1, 2}, Кривицина З.А.¹, Степанова К.Ю.¹, Дегтеренкова Н.В.¹, Пасекова О.Б.¹

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

²НИИ общей патологии и патофизиологии РАН, Москва

E-mail: gallog15@mail.ru

При подготовке к орбитальному полету важное значение имеет тренировочный процесс. В работе проведена сравнительная оценка адаптационных возможностей организма к физической нагрузке (велоэргометрия) по показателям энергетического (глюкоза, креатинфосфокиназа, лактатдегидрогеназа, лактат) и минерального (фосфор, магний) обмена у мужчин нетренированных (10 человек) и у спортсменов (штангисты, 10 человек). Исследования проведены методом «сухой химии» на капиллярной крови из пальца. Полученные результаты показали, что после велоэргометрии наблюдаются высокие значения концентрации лактата у нетренированных мужчин и в меньшей мере у тяжелоатлетов, высокие значения активности лактатдегидрогеназы у обследуемых обеих групп. Содержание фосфора и магния после велоэргометрии не изменялось в обеих группах. У тяжелоатлетов после велоэргометрии отмечались высокие значения активности КФК, тогда как у нетренированных она не изменялась. После велоэргометрии у нетренированных обследуемых наблюдалось снижение уровня глюкозы, в то время как ее содержание у тяжелоатлетов не изменялось. Вывод – регулярная тяжелая физическая нагрузка оказывает отрицательное влияние на адаптационные возможности организма, что необходимо учитывать при подготовке человека к орбитальному полету.

Ключевые слова: адаптация, велоэргометрия, энергетический и минеральный обмен, «сухая химия», нетренированные мужчины, тяжелоатлеты.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 5. С. 36–39.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-5-36-39

При подготовке к орбитальному полету важное значение имеет тренировочный процесс. В работе исследованы показатели энергетического и минерального обмена с целью выявления адаптационных возможностей организма к физической нагрузке. В условиях невесомости происходит существенная перестройка метаболизма в организме, которая затрагивает все виды обменных процессов. Необходимость успешного выполнения

критически важных работ несменяемым, длительно пребывающим вне Земли экипажем, обуславливает новые задачи, стоящие перед космической медициной и биологией, в частности, поиск показателей, позволяющих проводить объективные контроль и оценку потенциала функционального резерва физической работоспособности в условиях космического полета. Длительные орбитальные полеты, и в перспективе межпланетные, требуют всесторонней объективной оценки физической работоспособности экипажа непосредственно членами экспедиции. Как известно, в основе физиологических реакций лежит работа биохимических механизмов, поэтому для оценки функциональной готовности желательна непосредственно на борту определять и биохимические параметры. Ранее детальный анализ состояния аэробного и анаэробного обмена при дозированной физической нагрузки приведен в работе [1]. Авторы вводят понятие порога анаэробного обмена (ПАНО), или анаэробный порог – это мощность (потребление кислорода) во время теста с возрастающей нагрузкой, при которой регистрируется концентрация лактата в крови равная среднепопуляционной концентрации лактата при максимальном стационарном состоянии по лактату – 4 ммоль/л. На орбитальной станции «Мир» оперативное определение биохимических показателей в периферической крови космонавтов выполняли с помощью прибора «Рефлотрон-4» и отдельно определяли содержание лактата при помощи портативного анализатора «Аккуспорт» [2]. Аналогичное приборное обеспечение используется на борту Международной космической станции (МКС) [3]. На борту МКС определяли лактат капиллярной крови на 1-й и 5-й минутах восстановления после физической нагрузки в тестах с возрастающей нагрузкой на TVIS и велоэргометре для оценки эффективности режимов локомоторных тренировок. До полета уровень лактата капиллярной крови составил 1,0 +/- 0,1 ммоль/л, на 1-й минуте

Значения показателей энергетического и минерального обмена плазмы крови при велоэргометрии у нетренированных мужчин и тяжелоатлетов (M ± m)

Показатель, границы нормы	Группа обследованных	Результаты исследования	
		До велоэргометрии	После велоэргометрии
Лактат, 0,7–2,2 ммоль/л	Нетренированные	2,13 ± 0,29	7,04 ± 0,67*
	Тяжелоатлеты	1,10 ± 0,10 (7)	5,16 ± 0,62 (9)*
Глюкоза, 3,3–5,6 ммоль/л	Нетренированные	6,99 ± 0,32	6,00 ± 0,23 (9)*
	Тяжелоатлеты	6,76 ± 0,19 (9)	6,36 ± 0,14
Креатинфосфокиназа (КФК), 56–244 МЕ/л	Нетренированные	136 ± 22 (9)	128 ± 21 (8)
	Тяжелоатлеты	589 ± 122	630 ± 125
Лактатдегидрогеназа (ЛДГ), 230–460 МЕ/л	Нетренированные	351 ± 29 (9)	301 ± 18 (9)
	Тяжелоатлеты	441 ± 41	416 ± 21
Фосфор, 0,81–1,45 ммоль/л	Нетренированные	1,15 ± 0,06	1,15 ± 0,06 (9)
	Тяжелоатлеты	1,08 ± 0,08	1,14 ± 0,09
Магний, 0,77–1,05 ммоль/л	Нетренированные	1,05 ± 0,03 (9)	1,03 ± 0,03 (9)
	Тяжелоатлеты	1,04 ± 0,03	1,05 ± 0,04

Примечание. * – достоверное различие со значением до велоэргометрии, $p < 0,05$; в скобках указано количество обследованных, отличающееся от $n = 10$.

восстановительного периода после выполнения локомоторного теста он достиг 8,4 +/- 0,1 ммоль/л, а на 5-й минуте 7,4 +/- 0,1 ммоль/л [4]. Важность определения лактата в крови при дозированной физической нагрузке на велоэргометре была учтена в наших исследованиях.

Необходимо отметить, что отсутствуют данные по сравнительной оценке адаптационной реакции организма на физическую нагрузку (велоэргометрия) у нетренированных и тренированных людей.

Цель работы – провести сравнительную оценку адаптационных возможностей организма к физической нагрузке (велоэргометрия) по показателям энергетического и минерального обмена у нетренированных мужчин и у спортсменов-тяжелоатлетов (штангисты).

Методика

Исследования проведены методом «сухой химии» на капиллярной крови из пальца. Время выполнения анализа от забора крови до получения результата не превышало 15 мин, ручные манипуляции – нанесение капли капиллярной крови на гигроскопичную реакционную поверхность полоски, с последующим введением полоски в аппарат для считывания результата, либо сбор крови из пальца микропипеткой и перенос ее (крови) в закрытый микроконтейнер (размеры не превышают 1 см) с последующим помещением микроконтейнера в аппарат автоматического анализа и считывания результатов. Для выявления возможных изменений метаболизма в организме в процессе физических нагрузок на велоэргометре исследованы следующие биохимические показатели: субстраты

ферментных реакций – молочная кислота, глюкоза; ферменты – креатинфосфокиназа (КФК), лактатдегидрогеназа (ЛДГ); минеральные вещества – неорганический фосфор, магний. Молочную кислоту определяли в цельной капиллярной крови на приборе Accutrend Plus (Рош, Германия), остальные анализы – на биохимическом анализаторе SpotChem EZ (АРКРЕЙ, Япония). Забор крови из пальца проводили до и на 5-й минуте после физической работы на велоэргометре с непрерывной ступенчато возрастающей (на 25 Вт) нагрузкой. Продолжительность ступени составляла 3 мин. Критериями прекращения нагрузки по рекомендации ВОЗ являлось достижение субмаксимальной частоты сердечных сокращений, составляющей 75–80 % от максимально возможного для данного лица в обеих группах (максимальную величину пульса определяли по формуле Хаскеля – Фокса). Исследования проводили в положении сидя. Обследовано 20 мужчин-добровольцев в возрасте от 20 до 47 лет. Из них 10 нетренированных мужчин и 10 тренированных тяжелоатлетов. Статистическая обработка данных проводилась по t критерию Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Согласно представленным в таблице данным у нетренированных мужчин и тяжелоатлетов после велоэргометрии наблюдалось достоверное увеличение концентрации лактата в 3,31 и 4,65 раза соответственно. Уровень глюкозы у нетренированных мужчин после велоэргометрии незначительно (в 1,17 раза), но достоверно снижался, тогда, как у тяжелоатлетов ее содержание не изменялось.

Обращает внимание, что у тяжелоатлетов отмечались повышенные по сравнению с нормой значения активности КФК как до велоэргометрии, так и после. У нетренированных мужчин активность КФК не изменялась после велоэргометрии и не отличалась от значений нормы. При исследовании фермента энергетического обмена ЛДГ не выявлено изменений ее активности после велоэргометрии у нетренированных мужчин и тяжелоатлетов. Данные таблицы показывают, что велоэргометрия не влияла на показатели минерального обмена – содержание фосфора и магния и их значения не отличались от уровня нормы.

Выявленные изменения биохимических показателей при физической работе свидетельствуют о включении отдельных звеньев энергетического обмена в механизмы адаптации. Глюкоза является главным лабильным показателем экстренной адаптации. Ее снижение при кратковременной интенсивной физической нагрузке свидетельствует о расходовании для поддержания энергетического обмена. Однако согласно полученным данным, снижение концентрации глюкозы в крови наблюдалось лишь у нетренированных мужчин, тогда как у тяжелоатлетов физическая нагрузка не вызывала изменения уровня глюкозы. Основным начальным путем метаболизма глюкозы в организме является гликолиз [5]. При интенсивной физической нагрузке значительно возрастает потребление кислорода мышечной тканью, что приводит к относительной гипоксии в мышцах и усилению гликолиза [5]. В анаэробных условиях гликолиз заканчивается лактатдегидрогеназной реакцией с образованием молочной кислоты (лактата) и ее концентрация возрастает [6]. Аналогичные изменения были обнаружены и в наших исследованиях. При этом содержание молочной кислоты более выражено возрастало в крови у тяжелоатлетов. Велоэргометрия не вызывала повышение активности ЛДГ у спортсменов, у нетренированных мужчин отмечалась тенденция к ее снижению. Заслуживают внимание результаты по КФК. У нетренированных мужчин активность КФК не изменялась после велоэргометрии. У тяжелоатлетов проявлялась тенденция к увеличению активности КФК после велоэргометрии. Следует отметить, что активность КФК у тяжелоатлетов достоверно превышала ее значения у нетренированных мужчин как до, так и после физической нагрузки. Это можно объяснить значительно большим объемом мышечной массы у тяжелоатлетов. Согласно полученным данным, велоэргометрия не оказывала существенного влияния на содержание фосфора и магния в крови у мужчин нетренированных и тяжелоатлетов.

Выводы

1. При сравнительной оценке адаптационных возможностей организма к физической нагрузке (велоэргометрия) по показателям энергетического и минерального обмена у мужчин нетренированных и у спортсменов-тяжелоатлетов были получены следующие результаты:

- у нетренированных мужчин велоэргометрия вызывала достоверное снижение в крови уровня глюкозы, тогда как у тяжелоатлетов ее значения достоверно не изменялись;

- у мужчин нетренированных и тяжелоатлетов при велоэргометрии наблюдалось повышение концентрации молочной кислоты, в большей степени у тренированных;

- при велоэргометрии проявлялась тенденция к снижению активности ЛДГ у нетренированных мужчин и тенденция к увеличению активности КФК у тяжелоатлетов;

- у тяжелоатлетов активность КФК была достоверно выше, чем у нетренированных мужчин как до, так и после велоэргометрии;

- велоэргометрия не вызывала значимых изменений уровня фосфора и магния у мужчин нетренированных и тяжелоатлетов.

2. Изменения в энергетическом обмене при интенсивной физической нагрузке являются начальными физиологическими механизмами адаптации.

3. При подготовке человека к орбитальному полету необходимо учитывать его адаптационные возможности к физическим нагрузкам, в том числе по биохимическим показателям.

Работа выполнена в рамках темы «МКС» (МБО) раздела 11.

Список литературы

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

Popov D.V., Vinogradova O.L., Grigoriev A.I. Aerobic working capacity of a person – IMBP RAS. Moscow, 2012.

2. Носкин А.Д., Кожаринов В.И., Комарова Л.М. и др. Средства медицинского обеспечения космонавтов орбитальной станции «Мир» // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. Медицинское обеспечение длительных полетов. М., 2001. Т. 2. Гл. 3. С. 45–59.

Noskin A.D., Kozharinov V.I., Komarova L.M. et al. Means of medical support of astronauts of the Space Station «Mir» // Space Station «Mir». Space biology and medicine. Medical support of long flights Moscow, 2001. V. 2. Ch. 3. P. 45–59.

3. Ничипорук И.А., Моруков Б.В. Исследование биохимических показателей в ходе длительных космических

полетов на Международной космической станции // Международная космическая станция. Космическая биология и медицина. Медико-биологические исследования на российском сегменте МКС. М., 2011. Т. 2. С. 228–234.

Nichiporuk I.A., Morukov B.V. Research of biochemical indicators during long space flights on the International Space Station // International Space Station. Medico-biological researches on the Russian segment of the ISS. Moscow, 2011. V. 2. P. 228–234.

4. Козловская И.Б., Ярманова Е.Н., Егоров А.Д. и др. Развитие российской системы профилактики неблагоприятных влияний невесомости в длительных полетах на МКС // Международная космическая станция. Космическая биология и медицина. Медицинское обеспечение экипажей МКС. М., 2011. Т. 1. С. 63–98.

Kozlovskaya I.B., Yarmanova E.N., Yegorov A.D. et al. Russian countermeasure systems for adverse effects of microgravity on long-duration ISS flights // International Space Station. Space biology and medicine. Medical support of crews of the ISS. Moscow, 2011. P. 63–98.

5. Биологическая химия с упражнениями и задачами: Учебник / С.Е. Северин, ред. Moscow, 2011.

Biological chemistry with exercises and tasks: Textbook / S.E. Severin, ed. Moscow, 2011.

6. Березнякова А.И. Патологическая физиология. 2000.

Bereznyakova A.I. Pathological physiology. 2000.

Поступила 01.03.2017

BLOOD INDICES OF ENERGY METABOLISM AND MINERAL TURNOVER DURING BICYCLE ERGOMETRY OF UNTRAINED MEN AND TRAINED WEIGHTLIFTERS

Stepanpova G.P., Davydov B.V., Krivitsyna Z.A., Stepanova K.Yu., Degterenkova N.V., Pasekova O.B.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 5. P. 36–39

Physical training is a critical element of preparation for orbital missions. Our work was aimed at comparative evaluation of human body adaptability to physical loading (bicycle ergometry, BE) based on the indices of energy metabolism (glucose, kreatine phosphokinase, lactate dehydrogenase, lactate) and mineral turnover (phosphorus, magnesium) in untrained male subjects (n = 10) and athletes (weightlifters, n = 10). Capillary blood from finger was analyzed with dry chemistry. Following the exercise, lactate concentrations grew high in the untrained subjects and moderately in weightlifters; lactate dehydrogenase was high in both groups. The exercise did not change phosphorus and magnesium levels in either group. The kreatine phosphokinase activity increased in the weightlifters and did not change in the untrained subjects. After BE, the untrained subjects were found to decrease glucose, whereas the weightlifters did not change this parameter. Conclusion: regular heavy physical loading has a negative effect on human body adaptability and should be taken into consideration in the process of pre-flight crew preparation.

Key words: adaptation, bicycle ergometry, energy and mineral metabolism, dry chemistry, untrained male subjects, weightlifters.

УДК 611.341+591.85:613.693

АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУППОВЫХ ЛИМФОИДНЫХ УЗЕЛКОВ ТОНКОЙ КИШКИ МЫШЕЙ ПРИ МОДЕЛИРУЮЩЕМ МЕЖПЛАНЕТНЫЕ ПОЛЕТЫ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ

Баранцева М.Ю.¹, Клочкова С.В.^{2,3}, Алексеева Н.Т.⁴, Никитюк Д.Б.^{3,5}, Тутельян В.А.⁵, Кварацхелия А.Г.⁴, Мухамедиева Л.Н.¹

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

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

³Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России

⁴Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко Минздрава России

⁵Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва

E-mail: alexeevant@list.ru

Изучены структурные характеристики групповых лимфоидных узелков у мышей-самцов F1 (СВА х С57/BL6, исходный возраст 30–35 дней, исходная масса 20–23 г) в разные сроки эксперимента с радиационным воздействием и в период реадaptации длительностью 90 сут). Животных подвергали γ -облучению на установке ГОБО-60 с источником ¹³⁷Cs. Эксперимент с облучением проходил в течение 63 сут. Мощность дозы источника излучения – 25 сГр в час. Мышей облучали 10 фракциями, еженедельно по 50 сГр, суммарное облучение составило 350 сГр.

Показано, что структурные изменения лимфоидных бляшек выявлялись уже на 36-е сутки воздействия ионизирующей радиации, что проявлялось уменьшением длины, ширины лимфоидной бляшки, площади бляшки на продольном срезе стенки кишки. Данные проявления нарастали по мере увеличения воздействующей дозы облучения к 63-м суткам. Установлено, что лимфоидная ткань групповых лимфоидных узелков тонкой кишки у мышей обладает рекреационными способностями. После окончания радиационного воздействия, восстановительные процессы групповых лимфоидных узелков активно проявлялись на 28-е сутки, когда размеры лимфоидных бляшек, количество и размеры лимфоидных узелков, доля лимфоидных узелков с центром размножения фактически соответствовали контролю. Клеточный состав лимфоидной ткани на 28-е сутки после окончания эксперимента также соответствовал контролю при восстановлении типичных межклеточных ассоциаций.

Ключевые слова: групповые лимфоидные узелки, факторы космического полета, радиационное облучение.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 5. С. 40–46.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-5-40-46

Органы иммунной системы, структурно динамичные и лабильные, изменяются, как известно, при любых внешних воздействиях [1, 2]. Их морфологический статус рассматривается как маркер

безопасности и эффективности любых действующих факторов [3]. Значимость такого подхода возрастает применительно к длительным космическим полетам (КП), когда космонавты находятся в условиях сочетанных воздействий, одним из которых является низкоинтенсивное, но продолжительное радиационное воздействие [4–8]. Особенности структурных изменений периферических органов иммунной системы в экспериментальных условиях моделирования КП, и в частности при длительном низкоинтенсивном радиационном воздействии, изучены явно недостаточно; особый дефицит научной информации имеется о рекреационных возможностях лимфоидной ткани, ее восстановлении после альтертирующего действия радиации.

Цель работы: исследование структурной изменчивости групповых лимфоидных узелков тонкой кишки у мышей в различные сроки восстановительного периода после внешнего радиационного воздействия в дозе 350 сГр (Dэф = 70сГр).

Методика

Исследования проведены на 160 мышах-самцах F1 (СВА х С57/BL6), к началу эксперимента в возрасте 30–35 дней, массой 20–23 г, содержащихся в стандартных условиях согласно требованиями ГОСТ Р 53434-2009, МУ 2163-80 и «Методическим указаниям к постановке исследований для обоснования санитарных стандартов вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

Программа эксперимента была одобрена Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 136 от 02.06.2004 г.).

Действие радиационного фактора моделировали в соответствии с методикой, принятой в Институте медико-биологических проблем [9]. Для каждого срока эксперимента и реабилитационного периода

использовали свой контроль. Исследования проводили на стендовой базе ГНЦ РФ – ИМБП РАН, предназначенной для внешнего γ -облучения животных. Длительность эксперимента с фракционированным воздействием радиационного фактора была в течение 63 сут, продолжительность периода реабилитации – 90 сут. Фракционированное γ -облучение осуществляли с использованием γ -установки ГОБО-60, с источником ^{137}Cs . Подопытных животных (80 мышей) подвергали внешнему γ -облучению, при мощности дозы источника 25 сГр в час, 2 раза в нед в утренние часы. Суммарная доза облучения составила 350 сГр ($D_{\text{эф}} = 70\text{сГр}$), что соответствует дозе для человека около 120 сГр и согласуется с возможным уровнем среднетканевых эквивалентных доз для космонавтов при осуществлении межпланетного полета на Марс [10]. Дозу облучения подбирали с учетом разницы в продолжительности жизни и чувствительности к радиационному воздействию мышей и человека. Суммарная доза 350 сГр была выбрана с учетом коэффициента экстраполяции радиочувствительности мышей, равного 3.

Мышей умерщвляли методом цервикальной дислокации, продольные гистологические срезы подвздошной кишки (строго проксимальная, средняя и дистальная ее трети) окрашивали гематоксилином-эозином по Ван Гизону, выполняли реакцию серебрения по Гримелиусу. Структурные особенности лимфатических узлов изучали в разные сроки: на 8, 22, 36 и 63-е сутки эксперимента и на 14, 28, 60 и 90-е сутки реабилитационного периода (по 10 мышей в каждой экспериментальной и контрольной группах). При статистической обработке полученных данных использовали непараметрический критерий Манна – Уитни. Различия считались достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

У мышей F1 (CBA x 57/BL6) в норме лимфоидные (пейеровы) бляшки в количестве 4–7 располагаются на протяжении всей тонкой кишки, преимущественно (70–75 %) в стенках конечной части подвздошной кишки, в области ее противобрыжеечного края, в собственной пластинке слизистой оболочки и подслизистой основы. Длина лимфоидной бляшки составляет $1200,5 \pm 3,8$ мкм, ширина – $645 \pm 2,5$ мкм; в ее составе на продольном срезе определяются 7–10 одиночных лимфоидных узелков. Более половины лимфоидных узелков (50–55 %) имеют центр размножения, наличие которого рассматривается как проявление высокой степени дифференцировки и функциональной зрелости лимфоидной ткани [12, 13]. Абсолютное количество клеток лимфоидного ряда в лимфоидной ткани бляшки (на площади 880 мкм^2) составляет $25,2 \pm 0,25$ (центр размножения узелка), $30,4 \pm 0,31$ (диффузная лимфоидная

ткань) и $35,6 \pm 0,33$ клеток (мантия лимфоидного узелка). При этом междуузелковой диффузной лимфоидной ткани бляшек, по нашим данным, топографически соответствуют кишечные железы и ворсинки. Известно, что лимфоидным бляшкам отводится значительная роль при формировании иммунного ответа, они участвуют в процессах лимфоцитопоеза и рециркуляции лимфоцитов. Диффузная междуузелковая лимфоидная ткань бляшек рассматривается преимущественно как Т-зона, лимфоидные узелки, и особенно их мантия (купол), – как В-зона [14]. Лимфоидная ткань бляшек образована преимущественно лимфоцитами (70–75 % всех клеток лимфоидного ряда), ретикулярными клетками (13–16 %), макрофагами, плазмочитами, клетками с картиной митоза, дегенеративно измененными клетками, находящимися в ретикулярной строме, хорошо окрашиваемой по Гримелиусу. Такой клеточный состав лимфоидной ткани характерен и для других периферических органов иммунной системы [3]. В лимфоидной ткани бляшек всегда определяются типичные межклеточные ассоциации: расположение лимфоцитов концентрическими рядами, макрофагально-лимфоцитарные, ретикулярно-лимфоцитарные и плазмочитарно-лимфоцитарные комплексы (макрофаг, ретикулярная клетка, плазмочит в окружении лимфоцитов). По мнению авторов работы [12], кооперация клеток лимфоидного ряда может обеспечивать передачу информации между ними, необходимую для формирования иммунного ответа.

Экспериментально показана чувствительность лимфоидных бляшек животных к действию радиационного фактора в изученной дозе. Структурные изменения лимфоидных бляшек выявляются, по нашим данным, на 36-е сутки воздействия и характеризуются уменьшением ($p < 0,05$) длины лимфоидной бляшки в 1,26 раза относительно контроля, составляя в среднем по группе $956,6 \pm 12,52$ мкм относительно контроля. Ширина бляшки уменьшилась ($p < 0,05$) до $580,0 \pm 8,64$ мкм, площадь бляшки на продольном срезе стенки кишки ($510,0 \pm 4,75 \text{ мм}^2 \times 10^{-4}$) была в 1,08 раза меньше ($p < 0,05$), количество одиночных лимфоидных узелков на срезе бляшки ($6,0 \pm 0,32$) было в 1,32 раза меньше ($p > 0,05$) по сравнению с контролем (табл. 1, 2). Процентное число лимфоидных узелков с центром размножения на срезе лимфоидной бляшки (в % относительно общего числа узелков на срезе) у мышей экспериментальной группы составило $34,2 \pm 0,76$ %, что в 1,63 раза меньше, чем в контроле ($p < 0,05$), длина лимфоидного узелка ($56,4 \pm 0,65$ мкм) была в 1,53 раза меньше контроля ($p < 0,05$), его ширина ($54,2 \pm 0,52$ мкм) в 1,41 раза меньше контрольного показателя ($p < 0,05$), площадь лимфоидного узелка (на продольном срезе кишечной стенки) ($54,4 \pm 0,67 \text{ мм}^2 \times 10^{-4}$) в 1,22 раза меньше, чем в контроле ($p < 0,05$).

Таблица 1

**Параметры лимфоидной бляшки тонкой кишки мышей в разные сроки радиационных воздействий
($X \pm Sx$; min – max)**

Параметр	Группа наблюдений	Срок (сутки) и доза воздействия (сГр)			
		8 сут (70 сГр)	22 сут (140 сГр)	36 сут (210 сГр)	63 сут (350 сГр)
Длина, мкм	Эксперимент	1190,6 ± 16,84 1054,4–1210,7	1138,8 ± 10,80* 1120,2–1220,0	956,6 ± 12,52* 884,2–1000,2	938,8 ± 17,06* 842,0–1000,0
	Контроль	1200,2 ± 8,42 1154,2–1232,6	1210,3 ± 9,61 1150,0–1239,4	1205,5 ± 10,26 1145,2–1240,2	1210,3 ± 10,80 1143,2–1243,2
Ширина, мкм	Эксперимент	645,2 ± 2,91 630,2–657,7	635,5 ± 2,81 624,2–650,0	580,0 ± 8,64* 540,2–620,2	548,2 ± 8,42* 532,2–610,2
	Контроль	650,3 ± 2,70 634,2–659,8	638,2 ± 4,02 623,2–660,3	642,2 ± 3,99 623,0–660,4	653,3 ± 5,07 623,6–670,4
Площадь на срезе, мм ² × 10 ⁻⁴	Эксперимент	535,5 ± 3,88 520,0–556,2	533,3 ± 3,02 520,0–548,2	510,0 ± 4,75* 480,9–524,2	467,2 ± 3,13* 450,0–479,2
	Контроль	542,2 ± 3,90 524,4–560,9	540,7 ± 3,88 526,2–562,6	548,8 ± 4,96 524,30–570,3	543,3 ± 3,67 525,5–559,0
Число ЛУ на срезе бляшки	Эксперимент	10,1 ± 0,32 5–8	8,6 ± 0,32* 5–8	6,0 ± 0,32* 4–7	6,3 ± 0,32* 4–7
	Контроль	10,2 ± 0,32 5–8	10,2 ± 0,54 8–12	9,9 ± 0,43 6–11	10,0 ± 0,32 8–11
Число ЛУ с центром размножения на срезе бляшки**	Эксперимент	56,6 ± 0,86 52,2–60,0	54,3 ± 1,84 45,3–62,3	34,2 ± 0,76* 30,0–37,7	32,2 ± 1,29* 25,0–37,2
	Контроль	56,6 ± 0,86 52,2–60,0	54,8 ± 1,7 45,8–62,3	55,7 ± 1,51 46,2–60,0	53,8 ± 1,84 47,0–64,1

Примечание. Здесь и в табл. 2–4: ЛУ – лимфоидные узелки; * – статистически значимые отличия от контрольной группы соответствующего срока ($p < 0,05$); ** – в % к общему количеству узелков.

Таблица 2

**Параметры лимфоидных узелков с центром размножения в разные сроки радиационных воздействий
($X \pm Sx$; min – max)**

Параметр	Группа наблюдений	Срок (сутки) и доза воздействия (сГр)			
		8 сут (70 сГр)	22 сут (140 сГр)	36 сут (210 сГр)	63 сут (350 сГр)
Длина ЛУ, мкм	Эксперимент	80,0 ± 0,93* 74,5–83,2	82,2 ± 1,08* 74,2–84,2	56,4 ± 0,65* 52,2–58,2	50,0 ± 0,65* 47,2–53,4
	Контроль	85,1 ± 1,33 80,0–92,4	86,2 ± 1,39 79,8–92,7	86,4 ± 1,93 76,6–94,5	85,6 ± 2,32 75,5–97,0
Ширина ЛУ, мкм	Эксперимент	78,0 ± 1,08 73,0–83,0	76,0 ± 1,42 70,0–83,2	54,2 ± 0,52* 51,3–56,2	47,8 ± 0,67* 45,2–51,4
	Контроль	78,8 ± 1,19 72,0–83,1	77,5 ± 1,68 70,0–85,6	76,2 ± 2,04 67,7–86,6	76,8 ± 2,28 67,0–88,2
Площадь ЛУ на срезе, мм ² × 10 ⁻⁴	Эксперимент	64,4 ± 0,90* 59,2–67,4	63,3 ± 0,89* 58,4–66,7	54,4 ± 0,67* 50,0–56,2	50,0 ± 0,61* 47,5–53,2
	Контроль	67,8 ± 1,80 58,4–75,1	68,8 ± 1,69 59,0–74,7	66,5 ± 1,96 58,4–76,6	65,8 ± 2,07 57,0–76,2
Длина центра размножения, мкм	Эксперимент	44,2 ± 0,97 38,0–47,2	45,3 ± 0,62* 40,8–46,6	34,2 ± 0,60* 31,6–37,2	30,1 ± 0,4* 28,4–32,4
	Контроль	45,7 ± 1,38 39,2–52,0	47,4 ± 1,37 40,1–52,7	46,4 ± 0,76 42,0–49,0	47,4 ± 0,21 41,0–49,4
Ширина центра размножения, мкм	Эксперимент	32,2 ± 0,77* 28,8–36,0	32,2 ± 0,86* 28,0–36,0	24,5 ± 0,68* 21,3–27,6	22,6 ± 0,52* 20,0–24,9
	Контроль	37,2 ± 0,50 34,3–39,0	37,0 ± 0,41 34,7–38,5	36,6 ± 0,71 32,2–38,8	37,2 ± 0,58 34,0–39,4
Площадь центра размножения на срезе, мм ² × 10 ⁻⁴	Эксперимент	32,0 ± 0,70 29,5–35,0	30,0 ± 0,64* 28,0–34,0	24,5 ± 0,78* 19,0–26,2	20,6 ± 0,62* 18,8–24,5
	Контроль	34,4 ± 0,72 30,0–36,7	32,6 ± 0,62 30,0–35,7	33,5 ± 0,71 30,0–36,6	35,0 ± 0,89 29,0–37,2

Таблица 3

Количество клеток лимфоидного ряда в различных компонентах лимфоидной бляшки на срезе тонкой кишки мышей в разные сроки радиационных воздействий ($X \pm Sx$; min – max; на площади 880 мкм²)

Группа наблюдений	Число наблюдений	Срок (сутки) и доза воздействия (сГр)			
		8 сут (70 сГр)	22 сут (140 сГр)	36 сут (210 сГр)	63 сут (350 сГр)
Диффузная лимфоидная ткань					
Эксперимент	10	28,5 ± 0,54* 26–31	27,4 ± 0,75* 25–32	22,0 ± 0,54* 19–24	18,5 ± 0,54* 17–22
Контроль	10	30,2 ± 0,43 28–32	30,0 ± 0,54 28–33	29,2 ± 0,54 27–32	30,0 ± 0,54 27–32
ЛУ без центра размножения					
Эксперимент	10	33,0 ± 0,54 30–35	30,0 ± 0,43* 29–32	25,4 ± 0,54* 22–27	22,2 ± 0,54* 19–24
Контроль	10	34,2 ± 0,54 32–37	33,1 ± 0,54 30–35	32,5 ± 0,54 29–34	34,0 ± 0,65 31–37
Центр размножения ЛУ					
Эксперимент	10	25,0 ± 0,54 22–27	22,0 ± 0,65* 19–24	17,2 ± 0,54* 15–19	15,0 ± 0,43* 13–17
Контроль	10	26,2 ± 0,43 24–28	25,2 ± 0,43 23–27	25,0 ± 0,54 22–27	24,9 ± 0,65 21–27
Мантия ЛУ					
Эксперимент	10	32,9 ± 0,65* 29–35	30,0 ± 0,54* 28–33	26,2 ± 0,43* 24–28	24,0 ± 0,43* 22–26
Контроль	10	35,7 ± 0,43 33–37	36,2 ± 0,43 34–38	35,0 ± 0,54 33–38	36,0 ± 0,54 33–38

Таблица 4

Количество клеток лимфоидного ряда в различных компонентах лимфоидной бляшки тонкой кишки мышей в разные сроки после радиационных воздействий ($X \pm Sx$; min – max; на площади 880 мкм²)

Группа наблюдений	Значение показателя на начало реабилитационного периода**	Срок реабилитационного периода (сутки)			
		14 сут	28 сут	60 сут	90 сут
Диффузная лимфоидная ткань					
Эксперимент	18,5 ± 0,54** 17–22	21,3 ± 0,65* 17–23	27,5 ± 0,76* 24–31	30,0 ± 0,76 28–35	30,3 ± 1,19 23–34
Контроль	30,0 ± 0,54 28–33	30,7 ± 0,54 28–33	30,2 ± 0,76 27–34	31,0 ± 0,97 27–36	30,8 ± 0,75 25–32
ЛУ без центра размножения					
Эксперимент	22,2 ± 0,54** 19–24	25,5 ± 0,86* 20–28	34,1 ± 1,19 27–38	34,6 ± 0,76 29–36	34,5 ± 0,97 30–39
Контроль	34,0 ± 0,65 31–37	34,7 ± 0,86 30–38	35,0 ± 0,75 30–37	34,6 ± 0,86 29–37	34,2 ± 0,97 31–40
Центр размножения ЛУ					
Эксперимент	15,0 ± 0,43** 13–17	16,6 ± 0,86* 13–21	23,4 ± 0,76 20–27	24,6 ± 0,76 20–27	24,3 ± 0,64 19–25
Контроль	24,9 ± 0,65 21–27	23,9 ± 0,76 21–28	24,2 ± 0,65 22–28	24,7 ± 0,65 21–27	24,3 ± 0,65 20–26
Мантия ЛУ					
Эксперимент	24,0 ± 0,43** 22–26	27,0 ± 0,64* 24–30	35,0 ± 0,76* 30–37	36,5 ± 0,54 33–38	37,2 ± 0,64 34–40
Контроль	36,0 ± 0,54 33–38	36,4 ± 0,43 34–38	36,3 ± 0,65 32–38	36,5 ± 0,54 33–38	37,0 ± 0,65 33–39

Примечание. * – статистически значимые отличия от контрольной группы соответствующего срока ($p < 0,05$); ** – после воздействия суммарной дозы 350 сГр за 63 сут.

Одновременно с этим существенно изменились параметры лимфоидных узелков с центром размножения (см. табл. 2); длина лимфоидных узелков в этот срок ($34,2 \pm 0,60$ мкм) в 1,36 раза меньше ($p < 0,05$), ширина ($24,5 \pm 0,68$ мкм) – в 1,49 раза меньше ($p < 0,05$), а площадь на срезе ($24,5 \pm 0,78$ мм² × 10⁻⁴) в 1,37 раза меньше контроля ($p < 0,05$). Аналогично изменились и параметры у лимфоидных узелков без центра размножения.

На 36-е сутки эксперимента уменьшается и абсолютное количество клеток лимфоидного ряда во всех изученных структурных компонентах групповых лимфоидных узелков тонкой кишки мышей экспериментальной группы (табл. 3).

Так, количество клеток лимфоидного ряда в эти сроки в составе диффузной лимфоидной ткани снижается в 1,33 раза ($p < 0,05$), у лимфоидных узелков без центра размножения – в 1,28 раза ($p < 0,05$), в центрах размножения лимфоидных узелков – в 1,45 раза ($p < 0,05$) и в мантии лимфоидных узелков – в 1,34 раза ($p < 0,05$) по отношению к контролю.

Изменения клеточного состава лимфоидной ткани пейеровых бляшек мышей на 36-е сутки радиационного воздействия проявлялись тенденцией к уменьшению числа лимфоцитов (67,9–72,9 % общего количества клеток лимфоидного ряда) в 1,06 раза относительно контроля, $p > 0,05$ и фактическим исчезновением юных форм клеток лимфоидного ряда (лимфобластов, клеток с картиной митоза), что свидетельствует о депрессии лимфоцитопоэтических процессов. Одновременно наблюдали увеличение процентного числа дегенеративных клеток лимфоидного ряда (6,0–6,3 %) (в 2,72 раза относительно контроля, $p < 0,05$), увеличение числа макрофагов (4,5–5,5 %) в 1,48 раза, $p < 0,05$, что отражает, видимо, сохранность функций иммунной защиты. Наличие эозинофилов ($2,0 \pm 0,22$ %, отсутствующих в контроле) может свидетельствовать о развитии аллергических реакций. На 63-и сутки эксперимента происходили дальнейшие и максимально выраженные изменения структур лимфоидной бляшки (см табл. 1–3). Во всех ее структурных компонентах исчезали типичные межклеточные ассоциации, увеличивалось относительное содержание дегенеративно измененных клеток, эозинофилов. Исследования показали, что лимфоциты пейеровых бляшек характеризуются большей радиочувствительностью по сравнению с лимфоцитами, диффузно расположенными в слизистой оболочке тонкой кишки, и по сравнению с интраэпителиальными лимфоцитами, являющимися радиорезистентными формами клеток [15].

После последнего радиационного воздействия восстановительные процессы в групповых лимфоидных узелках активно проявились на 28-е сутки исследования, когда размеры лимфоидных бляшек,

количество и размеры лимфоидных узелков (их длина, ширина и площадь на срезе), доля лимфоидных узелков с центром размножения фактически соответствовали контролю. К этому сроку восстанавливалось абсолютное содержание клеток лимфоидного ряда в лимфоидной бляшке, свидетельствуя о рекреационной способности лимфоидной ткани бляшек (табл. 4): увеличилось относительное число лимфоцитов, лимфобластов, снизилось количество дегенеративно измененных клеток и др., постоянно выявлялись типичные межклеточные ассоциации. Это лишний раз свидетельствует о высоких восстановительных потенциях лимфоидной ткани периферических иммунных органов [12]. Следует полагать, что физиологическая регенерация тканей после длительного действия небольших доз радиации [16] определяются главным образом увеличением митотической активности клеток и способности тканевой дифференцировки.

Выводы

1. Воздействие ионизирующей радиации в дозе 350 сГр сопровождается повреждением групповых лимфоидных узелков (пейеровых бляшек) с угнетением лимфоцитопоэтических процессов, свидетельствуя о высокой радиочувствительности пейеровых бляшек тонкого кишечника к ионизирующей радиации по сравнению с лимфоцитами, диффузно расположенными в слизистой оболочке тонкой кишки и резистентными интраэпителиальными лимфоцитами.

2. Структурные изменения лимфоидных бляшек выявляются на 36-е сутки воздействия с максимумом к 63-м суткам облучения, и характеризуются уменьшением абсолютного количества клеток лимфоидного ряда, исчезновением типичных межклеточных ассоциаций, увеличением содержания дегенеративных клеток лимфоидного ряда.

3. Установлена высокая рекреационная способность лимфоидной ткани тонкого кишечника, которая проявляется на 28-е сутки восстановительного периода и характеризуется нормализацией клеточного состава лимфоидной ткани и структуры лимфоидных бляшек тонкой кишки мышей, выявлением типичных межклеточных ассоциаций, свидетельствуя о высокой восстановительной потенции лимфоидной ткани.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

Список литературы

1. Майбородин И.В., Стрункин Д.Н., Майбородина В.И. и др. Изменения групповых лимфоидных узелков и брыжеечных лимфатических узлов крыс после введения комплекса химиотерапевтических препаратов: сходство и различия реакции // Морфология. 2007. Т. 132. № 5. С. 68–73.
Maiborodin I.V., Strunkin D.N., Maiborodina V.I. et al. Changes in the aggregated lymphoid nodules and in the mesenterial lymph nodes after the administration of a chemotherapeutic drug complex: response similarities and differences // *Morfologiya*. 2007. V. 132. № 5. P. 68–73.
2. Чава С.В., Четвертков В.С., Швецов Э.В., Никитюк Д.Б. Структурные характеристики крипт двенадцатиперстной кишки мышей после облучения // Морфологические ведомости. 2012. № 2. С. 113–117.
Chava S.V., Chetvertkov V.S., Shvetsov E.V., Nikityuk D.B. The structural organization of the intestinal glands (crypts) of the mice duodenum after irradiation // *Morfologicheskie vedomosti*. 2012. № 2. P. 113–117.
3. Никитюк Д.Б., Клочкова С.В., Алексеева Н.Т., Кварацхелия А.Г. Современные представления об общих закономерностях макро-микроскопической анатомии лимфоидных органов // Журнал анатомии и гистопатологии. 2015. Т. 4. № 2. С. 9–13.
Nikityuk D.B., Klochkova S.V., Alexeeva N.T., Kvaratskheliya A.G. Modern ideas about the general patterns of macro-microscopic anatomy of lymphoid organs // *Zhurnal anatomii i gistopatologii*. 2015. V. 4. № 2. P. 9–13.
4. Шафиркин А.В., Григорьев Ю.Г. Межпланетные и орбитальные космические полеты. Радиационный риск для космонавтов. М., 2009.
Shafirkin A.V., Grigoriev Yu.G. Interplanetary and orbital space flights. The radiation risk to astronauts. Moscow, 2009.
5. Рыкова М.П. Иммунная система у российских космонавтов после орбитальных полетов // Физиология человека. 2013. Т. 39. № 5. С. 126–136.
Rykova M.P. Immune system in Russian cosmonauts after orbital space flights // *Fiziologiya cheloveka*. 2013. V. 39. № 5. P. 126–136.
6. Anderson R.E., Warner N.L. Ionizing radiation and the immune response // *Adv. Immunol.* 1977. V. 24. № 6. P. 215–335.
7. Buravkova L.B., Grogorieva O.V., Rykova M.P. The effect of microgravity on interaction between human immune cells and target cells in vitro (flight experiments during ISS-12 missions) // *Abstract book. Science on European Soyuz to the International Space Station (2001–2005)*. Toledo, 2006. P. 20.
8. Morukov B., Rykova M., Antropova E. NK cells assessments: a thirty-year-old history of immune stress interaction in space // *Stress challenges and immunity in space: from mechanisms to monitoring and preventive strategies* / A. Chouker, ed. Heidelberg, 2012. P. 155–164.
9. Татаркин С.В. Гемопоз и метаболический статус эритроцитов мышей при длительном комбинированном воздействии ионизирующей радиации и химических веществ, моделирующих условия межпланетных полетов: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2013.
Tatarkin S.V. Hemopoiesis and metabolic status of erythrocytes of mice with long-term combined action of ionizing radiation and chemical substances simulating the conditions of interplanetary flights: *Avtoreferat dissertatsii ... kandidata meditsinskikh nauk*. Moscow, 2013.
10. 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 risks for astronauts during the expedition to Mars on the basis of real engineering developments of the Martian ship // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2010. V. 44. № 1. P. 5–14.
11. Автандилов Г.Г. Морфометрия в патологии. М., 1990.
Avtandilov G.G. Morphometry in pathology. Moscow, 1993.
12. Сапин М.Р., Никитюк Д.Б. Иммунная система, стресс и иммунодефицит. М., 2000.
Sapin M.R., Nikityuk D.B. Immune system, stress and immunodeficiency. Moscow, 2000.
13. Gray D. Understanding germinal center // *Res. Immunol.* 2004. V. 142. № 3. P. 236–242.
14. Шахламов В.А., Гайдар Ю.А. Иммуноморфология групповых лимфатических фолликулов (пейеровых бляшек) // *Архив анатомии, гистологии и эмбриологии*. 1984. Т. 87. № 12. С. 87–97.
Shakhlamov V.A., Gaidar Yu.A. Immunomorphology of group lymphoid nodules (Peyer's plaques) // *Arhiv anatomii, gistologii i embriologii*. 1984. T. 87. № 12. S. 87–97.
15. Пономарева Т.В., Старшинов А.И., Токин И.Б. Структурные особенности интраэпителиальных лимфоцитов кишечника крысы // Там же. 1974. Т. 66. № 6. С. 36–46.
Ponomareva T.V., Starshinov A.I., Tokin I.B. Structural features of the rat intestinal intraepithelial lymphocytes // *Ibid.* 1974. V. 66. № 6. P. 36–46.
16. Михайлов В.П. Некоторые вопросы радиационной гистологии // Там же. 1962. Т. 42. № 4. С. 24.
Mikhailov V.P. Some issues of radiation histology // *Ibid.* 1962. V. 42. № 4. P. 24.

Поступила 18.05.2017

ANATOMICAL AND MORPHOLOGIC CHARACTERISTICS OF GROUP LYMPHOID NODES IN THE SMALL BOWEL OF MICE AFTER AN EXPOSURE TO IONIZING RADIATION MODELING INTERPLANETARY MISSIONS

**Barantseva M.Yu., Klochkova S.V.,
Alekseeva N.T., Nikitiuk D.B., Tutelian V.A.,
Kvaratskheliya A.G., Mukhamedieva L.N.**

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).
2017. V. 51. № 5. P. 40–46

Structural properties of group lymphoid nodes from male mice F1 (CBA x C57/BL6, initial age 30–35 days, initial mass 20–23 g) were examined in different periods of a 63-d radiation exposure and 90-d post-exposure. Animals were

γ-irradiated on ¹³⁷Cs source GOBO-60. Dose rate amounted to 25 cGy/h. Mice received 350 cGHy total from fractionated irradiation by 50 cGy per a week over 10 weeks.

Structural effects in lymphoid patches observed already on day 36 of exposure included decreases in patch length and width, and diminution of patch area in the bowel wall longitudinal section. These changes became more manifested with dose accumulation. The lymphoid tissue of the bowel group nodes showed the recreational ability. Recovery processes were active on day 28 after the exposure when size of patches, number and size of lymphoid nodes and percentage of nodes with the germinal center were factually similar to control. Cellular content of the lymphoid tissue on post-exposure day 28 also did not differ from the recovery of typical intercellular associations in the control.

Key words: group lymphoid nodes, space flight factors, radiation exposure.

УДК 629.7.048

РЕГЕНЕРАЦИЯ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ВОДЫ НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Сальников Н.А.^{1,2}, Бобе Л.С.¹, Кочетков А.А.¹, Синяк Ю.Е.³

¹Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторский институт химического машиностроения», Москва

²Московский политехнический университет

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

E-mail: 2883776@bk.ru

Одной из систем жизнеобеспечения перспективных космических станций является система регенерации санитарно-гигиенической воды (СГВ). Предполагается, что на перспективной станции будет организован отдельный замкнутый контур воды для средств помывки экипажа и стирки одежды, включающий систему регенерации, обеспечивающую многократное использование санитарно-гигиенической и бытовой воды. В настоящее время система и процесс регенерации СГВ являются наименее проработанными. В статье описаны результаты экспериментальных исследований, позволившие предложить для регенерации санитарно-гигиенической воды, полученной при использовании общепринятого жидкого антибактериального моющего средства, метод обратного осмоса. Процесс регенерации реализуется в циркуляционной схеме с емкостью постоянного объема, сорбционной доочисткой воды после обратноосмотического фильтра и многоступенчатым обеззараживанием очищаемой и хранящейся воды. Прототип системы обеспечил требуемую степень очистки воды от загрязнений и моющего средства, предотвращение развития микрофлоры в системе и очищенной воде, максимально возможное извлечение воды с приемлемыми затратами энергии. Основными задачами дальнейших работ являются разработка и испытания экспериментального образца системы совместно с санитарно-гигиеническим и бытовым оборудованием.

Ключевые слова: система жизнеобеспечения, санитарно-гигиеническая вода, регенерация, обратный осмос.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 5. С. 47–54.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-5-47-54

Возможность длительных орбитальных и межпланетных полетов связана с совершенствованием регенерационных систем жизнеобеспечения экипажа. В настоящее время сформировалась структура комплекса систем регенерации воды и атмосферы для перспективных космических станций [1]. Одной из предполагаемых систем этого комплекса является система регенерации санитарно-гигиенической воды (СГВ), обеспечивающая многократное

использование одной и той же воды. Предполагается, что будет организован отдельный замкнутый контур воды для помывки экипажа и стирки одежды (подпитываемый, при необходимости, водой из других источников), в состав которого войдет система регенерации (очистки) загрязненной воды.

По сравнению с опытом разработки и эксплуатации на космических станциях «Салют-4, -6, -7», «Мир» и Международной космической станции (МКС) систем регенерации воды из конденсата атмосферной влаги и урины система и процесс регенерации СГВ являются наименее проработанными. Система для станции «Мир» [2] не работала по назначению в связи с отсутствием на борту санитарно-гигиенического оборудования. Технология регенерации, использованная в этой системе, предусматривала применение специального моющего средства, диссоциирующего на ионы и допускающего ионообменную очистку. Кроме того, указанное средство (катамин с окисью амина) оказалось недостаточно комфортным для экипажа.

Принципиальными требованиями к системе регенерации СГВ являются обеспечение требуемой степени очистки от загрязнений и моющего средства, предотвращение развития микрофлоры в системе и очищенной воде, максимально возможное извлечение воды. Для реализации указанных требований предложен и исследован процесс регенерации СГВ (полученной при использовании общепринятого жидкого антибактериального моющего средства) методом обратного осмоса в циркуляционной схеме с емкостью постоянного объема, сорбционной доочисткой воды после обратноосмотического фильтра и многоступенчатым обеззараживанием очищаемой и хранящейся воды [3].

Следует особо подчеркнуть, что параллельно с разработкой процесса и системы регенерации СГВ следует разрабатывать и испытывать средства помывки экипажа и стирки одежды, а также прорабатывать график и порядок (методику) проведения санитарно-гигиенических процедур в зависимости

Состав примесей в СГВ, подлежащей очистке

Показатель	Состав примесей в СГВ, подлежащей очистке			Состав примесей в СГВ циркуляционного контура**
	По работам [7–9]	По работе [10]	По ЭД	По ЭД
Цвет	Серый	Мутный, серый	Мутный, серый	Мутный, серый
Запах, баллы	Резкий, специфический	0–1	2–3	4–5
Водородный показатель рН, ед. рН	6–7	8–10	5,8–6,6	8
Прозрачность, см	Мутная	6,5–8,0	1	0
Взвешенные вещества, мг/л	-	150–300	170*	-
Органические вещества в сумме по бихроматной окисляемости, мгО ₂ /л	до 5000	1200–2200	900–1700	27 000–30 000
Азот аммиака, мг/л	60	-	6,4–22,6	326,0
Мочевина, мг/л	3	-	-	-
Хлориды, мг/л	300	2,5–5,0	80	7000–8000
Фосфаты, мг/л	-	10–20	-	-
Сульфаты, мг/л	-	15–40	3	1000–1500
Общая жесткость, мг-экв/л	-	-	0,66–1,05	20–30
Моющее средство (ПАВ), мг/л	до 1000	55–140	до 8000	до 250 000
Бактерии, количество микробных тел в литре	до 10 ⁵ – 10 ⁹	-	10 ⁴ – 10 ⁵	10 ⁶

Примечание. ЭД – по экспериментальным данным, полученным авторами; * – взвешенные вещества с размером частиц более 50 мкм; ** – при максимальной концентрации моющего средства 250 г/л.

от режима труда и отдыха экипажа, так как от этих параметров будет зависеть состав загрязненной воды.

Концепция регенерации СГВ на космической станции

На перспективных космических станциях, космических кораблях и планетных базах предполагается введение водных процедур (мытьё рук и лица, душ, сауна) и стирки одежды, а также последующая регенерация СГВ. В условиях микрогравитации осуществление водных процедур требует введения специального оборудования (устройство для мытья рук и лица, душевая кабина, стиральная машина). В зависимости от вида гермообъекта возможны различные комбинации оборудования для водных процедур и стирки. Санитарно-гигиеническая вода из различных источников образования может иметь различный состав (табл. 1) [7–10]. При этом предполагается, что регенерация СГВ из всех источников будет осуществляться в одной системе. По российской концепции СГВ должна образовывать отдельный замкнутый контур использования, регенерации и хранения, что дает ощутимые преимущества в части требований к очищенной воде и расходу энергии [1, 2]. Очистка должна проводиться до требований ГОСТ [4] к СГВ.

Действующий стандарт [4] предусматривает минимальный объем воды для проведения космонавтом

на борту различных санитарно-гигиенических процедур. Потребление воды может варьироваться от 0,2 до 7 л на человека в сутки. По нашим расчетам для комфортного проведения санитарно-гигиенических процедур среднее водопотребление должно находиться на уровне 6 л/(чел.сут). При дальнейших расчетах нами принималось данное значение водопотребления. Поток санитарно-гигиенической воды достаточно велик, поэтому регенерация данной воды и ее возврат в цикл являются обязательными условиями.

Концепция американских специалистов заключается в смешении СГВ с дистиллятом урины и конденсатом атмосферной влаги с последующей регенерацией воды из смеси в питьевом процессоре до показателей питьевой воды [5], что влечет за собой повышенные требования к регенерированной воде и к системе регенерации.

На станции «Мир» совместно с устройством для мытья рук и душевой кабиной проходила испытания система регенерации СГВ. Работа системы была основана на фильтровании с последующей сорбционной очисткой ионообменными смолами и активированным углем [2, 6]. Заданная степень очистки достигалась только при использовании моющего средства, диссоциирующего на ионы, в качестве которого применялся катамин с окисью амина. Катамин обладает хорошим антибактериальным и чистящим эффектом, но оказывает

местно-раздражающее действие на кожу и слизистые оболочки глаз.

К перспективной системе СГВ предъявляют следующие требования: осуществление регенерации воды после санитарно-гигиенических процедур и стирки; возможность использования общепринятых моющих средств; высокий коэффициент извлечения (регенерации) воды (95–98 %); микробиологическая безопасность; получение воды, удовлетворяющей требованиям стандартов; возможность периодического функционирования без потери заданных характеристик (в том числе возможность продолжительных перерывов в работе); малое энергопотребление; автономность работы; простота в обслуживании; малые удельные затраты массы и энергии.

Выбор моющих средств для водных процедур и стирки обусловлен требованиями по безопасности и комфорту при их использовании, методом регенерации воды, коррозионной активностью и стоимостью моющего средства. Важным фактором является наличие антибактериальной составляющей в составе моющих средств и отсутствие летучих компонентов. Моющие средства общего применения, как правило, имеют сложный состав, в который входят низкомолекулярные органические вещества и минеральные составляющие. Большинство органических веществ не диссоциирует на ионы и, следовательно, не может быть извлечено из воды ионообменными смолами.

Обоснование и выбор метода и системы регенерации

В связи с развитием мембранной технологии в настоящее время весьма перспективным является использование для очистки загрязненной СГВ мембранных процессов [9, 11–13] на основе синтетических полупроницаемых мембран. Мембранные методы очистки обладают значительными преимуществами перед традиционными. Так, мембранные методы менее энергоемки и более экономичны; большинство мембранных процессов протекает без энергоемких фазовых переходов; мембранные аппараты просты, компактны и надежны в эксплуатации. В качестве перспективных мембранных методов очистки СГВ рассматривались ультрафильтрация и обратный осмос. Данные методы принципиально отличаются от обычной фильтрации, так как при фильтрации растворенные вещества откладываются в виде кристаллического или аморфного осадка на поверхности фильтра, а при обратном осмосе и ультрафильтрации образуются 2 раствора, один из которых обеднен растворенным веществом [12].

Проведенные авторами предварительные исследования [14] показали, что для очистки воды от общепринятых моющих средств необходимо использовать обратный осмос (рис. 1). Исследования

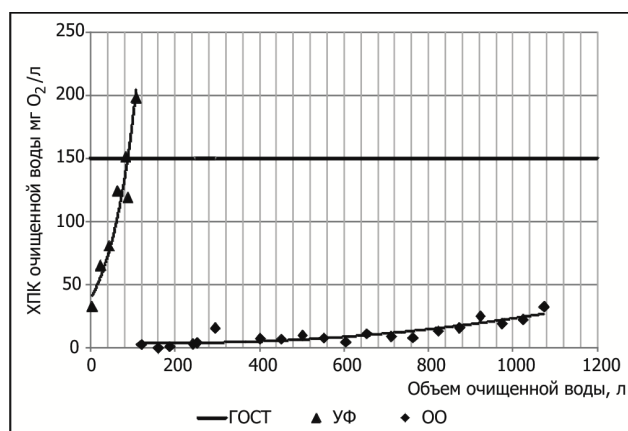


Рис. 1. Эффективность очистки воды методом ультрафильтрации и обратного осмоса.

УФ – ультрафильтрация; ОО – обратный осмос; ГОСТ – ГОСТ Р 50804-95

проводились на рулонных мембранных модулях российского и зарубежного производства (при использовании жидкого моющего средства общего применения) без предварительной фильтрации имитатора СГВ и реальной СГВ от механических примесей, т.е. в экстремальных условиях эксплуатации мембранных модулей. Последующей доочистки, обеззараживания и консервации фильтрата не проводилось. Как видно из рис. 1, селективность очистки методом ультрафильтрации по жидкому моющему средству оказалась недостаточной; показатель бихроматной окисляемости очищенной воды превысил нормативные значения после получения 80 л фильтрата. Селективность композитных низконапорных обратноосмотических мембран по общепринятым жидким моющим средствам превышает 98 %, что обеспечивает необходимую степень очистки СГВ.

Обратный осмос представляет собой баромембранный процесс, движущей силой которого является разность рабочего и осмотического перепада давлений [15, 16]:

$$j = K \cdot (\Delta P - \Delta \pi) \quad (1)$$

где, j – поток массы растворенного вещества; K – коэффициент, учитывающий свойства мембраны и раствора; ΔP – перепад рабочего давления на мембране; $\Delta \pi$ – перепад осмотического давления на мембране.

Для осуществления процесса очистки рабочее давление в мембранном аппарате должно превышать осмотическое давление очищаемого раствора. В общем случае осмотическое давление многокомпонентного водного раствора можно приближенно рассчитать по уравнению Вант-Гоффа, дополненного поправочными коэффициентами [11, 12]:

$$\pi = RT \sum_{k=1}^n (i \cdot C_k) \quad (2)$$

где, π – осмотическое давление раствора; $i = 1 + \alpha'$ – коэффициент Вант-Гоффа; α' – степень диссоциации растворенного вещества; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура раствора; C – мольная концентрация растворенного вещества.

Расчет по уравнению (2) допускается проводить как для органических, так и для неорганических веществ при следующих допущениях: многокомпонентный водный раствор близок к идеальному, раствор является разбавленным [11, 12]. При концентрировании моющего средства от 2 до 250 г/л среднекомпонентная мольная концентрация моющего средства в воде составляет от 0,01 до 1,18 моль/л. Следует полагать, что при концентрации моющего средства выше 200 г/л расчетные значения осмотического давления водного раствора могут в значительной степени расходиться с экспериментальными. Расчетные значения осмотического давления водного раствора жидкого моющего средства («Адажио») при различных его концентрациях показаны на рис. 2, а его состав – в табл. 2.

Негативным фактором при осуществлении мембранной очистки является концентрационная поляризация, которая представляет собой явление повышения концентрации растворенных веществ у поверхности мембраны при проведении процесса очистки и численно отражается отношением концентрации растворенных веществ в пограничном слое жидкости у поверхности мембраны и в ядре потока. Концентрационная поляризация снижает движущую силу процесса очистки, повышая осмотическое давление разделяемого раствора у поверхности мембраны. Концентрационная поляризация может также привести к осадкообразованию на мембранной поверхности и блокировке ее активного слоя. Снизить негативное действие концентрационной поляризации можно при правильной организации гидродинамических условий проведения процесса, обеспечивающих минимальную разность концентраций между пограничным слоем жидкости у мембраны и ядром потока. Очистку воды и концентрирование загрязнений осуществляют путем тангенциальной фильтрации, при которой загрязненная вода циркулирует вдоль поверхности мембраны при рабочем давлении, превышающем осмотическое. При такой схеме работы мембранного аппарата снижается концентрационная поляризация, сводится к минимуму интенсивность забивки пор мембраны и осадкообразование.

Для нахождения наиболее рационального режима циркуляции и расчета производительности мембранного аппарата необходимо знать значение

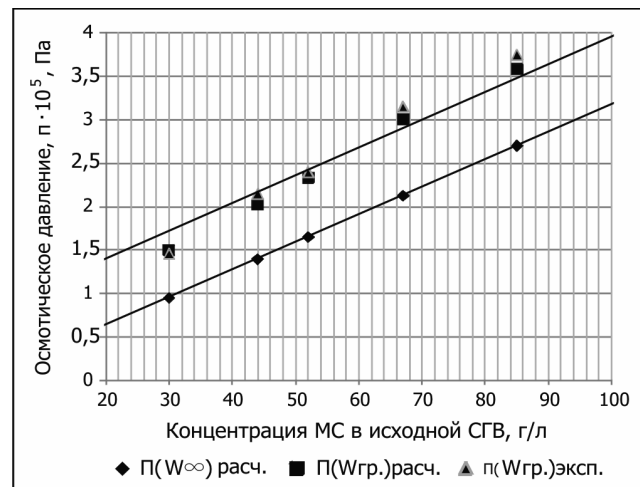


Рис. 2. Расчетные и экспериментальные значения осмотического давления водных растворов жидкого моющего средства в ядре потока и в пограничном слое мембраны ($\Delta P = 0,8$ МПа).

$\pi(W_{\infty})_{расч.}$ – расчетное осмотическое давление в ядре потока; $\pi(W_{гр.})_{расч.}$ – расчетное осмотическое давление в пограничном слое мембраны; $\pi(W_{\infty})_{эксп.}$ – экспериментально полученные значения осмотического давления

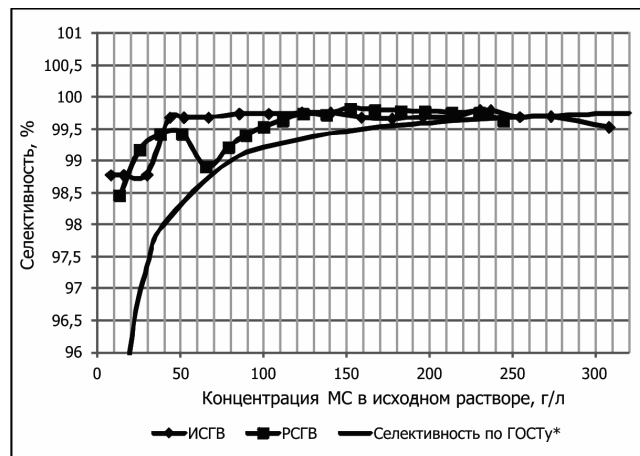


Рис. 3. Селективность обратноосмотических модулей НаноРО КСН21-2521Т по имитатору СГВ и реальной СГВ от концентрации моющего средства в исходном растворе. ИСГВ – имитатор СГВ; РСГВ – реальная СГВ; * – селективность по ГОСТ представляет собой минимальную селективность мембраны, при которой фильтрат удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 50804-95 (по ХПК)

концентрации растворенных веществ у поверхности мембраны. Массообмен в пограничном слое мембраны осуществляется преимущественно путем молекулярной диффузии. Поток массы растворенных веществ в пограничном слое может быть рассчитан по методу расширенной аналогии между тепло- и массообменом [7]. Зная гидродинамику

потока и имеющиеся в литературе соотношения для теплообмена, можно рассчитать массообменные характеристики среды, в частности, коэффициент массоотдачи, на основе которого можно определить диффузионный поток массы растворенных веществ. На рис. 2 представлены результаты расчета осмотического давления водных растворов жидкого моющего средства «Адажио» в ядре потока напорного канала и в пограничном слое мембраны. Расчет производился по теории расширенной аналогии между тепло- и массообменом [7, 17] методом последовательных приближений. Экспериментальные значения осмотического давления водных растворов жидкого моющего средства удовлетворительно совпадают с расчетными данными.

Экспериментальные значения осмотического давления были получены на рулонном обратноосмотическом модуле путем нахождения разности значений перепада давления на мембране при циркуляции исследуемого раствора и дистиллированной воды в циркуляционном контуре при условии обеспечения одной и той же производительности модуля по фильтрату. Корректировка производительности мембраны с изменением температуры проводилась по паспортным данным мембранного модуля.

Проведенные эксперименты показали высокую эффективность очистки воды на рулонных обратноосмотических модулях российского и зарубежного производства. Очистке подвергался имитатор СГВ – раствор бытового жидкого моющего средства («Адажио») в воде и реальная СГВ, полученная после мытья рук. Очистка воды проводилась на рулонном обратноосмотическом модуле НаноРО КСН 21-2521Т с последующей доочисткой фильтрата активированным углем и обеззараживанием ультрафиолетом. Так как движущая сила процесса обратноосмотической очистки растет при увеличении рабочего перепада давления на мембране, эксперименты по очистке воды проводились при рабочих перепадах давления 0,2; 0,4; 0,6 и 0,8 МПа. Эксперименты показали, что необходимая степень очистки достигается при рабочем перепаде давления 0,8 МПа. Селективность обратноосмотических рулонных мембранных элементов НаноРО КСН 21-2521Т российского производства по жидким моющим средствам общего применения аналогична зарубежным аналогам и превышает 98 %, что обеспечивает необходимое качество очищенной воды (рис. 3). Наличие дополнительных загрязнений с рук человека практически не сказывается на селективности мембран. Коэффициент извлечения чистой воды из имитатора СГВ и реальной СГВ составляет 97–98 % и может быть рассчитан по формуле (3):

$$K_{\text{извл.}} = \frac{G_{\text{О.В.}}}{G_{\text{З.В.}}} = 1 - \frac{C_{\text{нач.}}}{C_{\text{кон.}}} \quad (3)$$

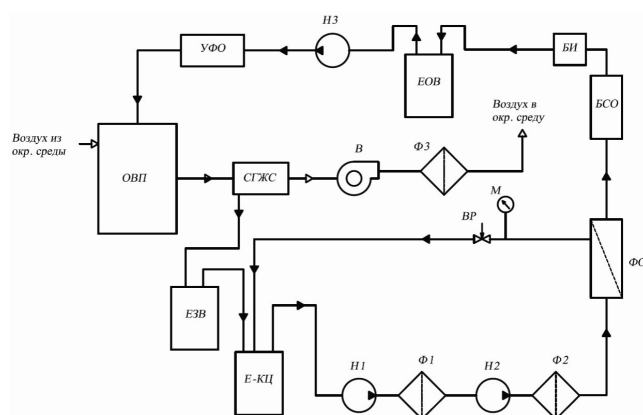


Рис. 4. Принципиальная схема перспективной системы СРВ-СГ.

ОВП – отсек водных процедур; СГЖС – сепаратор газожидкостной смеси; В – вентилятор; ЕЗВ – емкость загрязненной воды; ЕОВ – емкость очищенной воды; Е-КЦ – концентрационная емкость постоянного объема; Н1, Н2, Н3 – насосы; Ф1, Ф2 – фильтры предварительной очистки; ФО – фильтр обратноосмотический; ВР – вентиль регулировочный; М – манометр; БСО – блок сорбционной очистки (доочистки); БИ – блок ионатора серебра; УФО – ультрафиолетовый обеззараживатель

Система регенерации СГВ

В настоящее время разрабатывается перспективная система регенерации СГВ (рис. 4), основанная на мембранной очистке воды методом обратного осмоса. В системе организован циркуляционный контур, реализована схема тангенциальной фильтрации через рулонный обратноосмотический модуль. В циркуляционный контур введена емкость постоянного объема, в которой осуществляется концентрирование моющего средства от 2–7 до 250 г/л, а также загрязнений. Подготовка воды перед входом в аппарат обратного осмоса осуществляется в фильтрах грубой и тонкой очистки. Фильтрат проходит доочистку активированным углем. Очищенная вода консервируется ионами серебра и отправляется на хранение. Перед выдачей в отсек водных процедур вода проходит финишное обеззараживание ультрафиолетом.

Экспериментальные исследования показали высокое содержание бактериальной микрофлоры (см. табл. 1) в СГВ, полученной после водных процедур, и в циркуляционном контуре системы СРВ-СГ даже при использовании общепринятого антибактериального моющего средства («Адажио»), содержащего в качестве антимикробного агента триклозан. Вследствие активности бактериальной микрофлоры в циркуляционном контуре происходит разложение органических веществ, что ухудшает органолептические свойства получаемого фильтрата и негативно воздействует на мембрану. Данные факты

Таблица 2

Состав моющего средства «Адажио»

№ п/п	Компонент	Химическая формула	Молекулярная масса, г/моль	Степень диссоциации	Содержание компонента в моющем средстве, %
1	Лауретсульфат натрия	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OSO}_3\text{Na}$	420	1	7,0
2	Хлорид натрия	NaCl	58,5	1	0,8
3	Диэтаноламид жирных кислот кокосового масла	$\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{CO-N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_2$	287	0	4,0
4	Бетаин	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{NO}_2$	117	0	2,0
5	Глицерин	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$	92	0	1,5
6	Цитрат натрия	$\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$	258	1	2,5
7	Лимонная кислота	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$	192	0,5	0,3
8	Бронопол	$\text{C}_3\text{H}_6\text{BrNO}_4$	200	0	0,01
9	Триклозан	$\text{C}_{12}\text{H}_7\text{Cl}_3\text{O}_2$	289,5	$74,1 \cdot 10^{-5}$	0,2
10	Вода	H_2O	18	-	80

Таблица 3

Качество регенерированной СГВ

Показатель	Величина показателя	ПДК по ГОСТ Р 50804-95
Содержание азота аммиака, мг/дм ³	7,4*	10
Содержание хлоридов (Cl ⁻), мг/дм ³	6,6	350
Общая жесткость, мг-экв/дм ³	0,27	0–7,0
Водородный показатель pH, ед. pH	8,57	5,0–9,0
Цветность, градусы	0	20
Запах при температуре 20 °С, баллы	0	3
Содержание сульфатов, мг/дм ³	17,7	250
Содержание нитритов, мг/дм ³	0,1	3,3
Содержание нитратов, мг/дм ³	0,04	45,0
ХПК(б) ОО, мгО ₂ /дм ³	114,5	150
ХПК(б) ОО + АУ, мгО ₂ /дм ³	45,8*	150
Содержание этанола, мг/дм ³	0	10
Содержание метанола, мг/дм ³	0	9
Содержание этиленгликоля, мг/дм ³	0	11
Общее количество бактерий после обратноосмотического аппарата, КОЕ/см ³	480	100 (1000)
Общее количество бактерий после обеззараживания ультрафиолетом КОЕ/см ³	20**	100 (1000)

Примечание. ОО – обратный осмос; АУ – активированный уголь; УФО – ультрафиолетовое обеззараживание; * – фильтрат, прошедший дезодорирование активированным углем; ** – фильтрат, прошедший дезодорирование активированным углем и обеззараживание ультрафиолетом.

Таблица 4

Параметры очистки имитатора СГВ и реальной СГВ на имитационной экспериментальной установке

Параметр	Имитатор СГВ	Реальная СГВ
Начальная концентрация моющего средства в циркуляционном контуре, г/л	5,0	7,4
Конечная концентрация моющего средства в циркуляционном контуре, г/л	250	252
Объем емкости постоянного объема, л	3	3
Объем циркуляционного контура (с емкостью постоянного объема), л	4	4
Число циклов концентрирования	15	18
Коэффициент извлечения чистой воды	0,98	0,97

выявили необходимость дополнительного консервирования загрязненной воды после водных процедур и циркуляционного контура системы, а также дезодорирования получаемого фильтрата. Испытания, проведенные на экспериментальной установке, имитирующей работу перспективной системы СРВ-СГ, показали реализуемость и эффективность данного метода регенерации. Экспериментальная установка состояла из циркуляционного контура с обратноосмотическим фильтром НаноРО КСН 21-2521Т, блока доочистки (дезодорирования) фильтрата и ультрафиолетового обеззараживателя. Анализы воды отбирались после каждого аппарата экспериментальной установки. При концентрировании загрязнений и моющего средства от 2–7 до 250 г/л качество очищенной воды соответствует нормативам (табл. 3). Параметры очистки имитатора СГВ и реальной СГВ на экспериментальной установке с моделированием работы перспективной системы СРВ-СГ представлены в табл. 4.

Проведенные расчеты предполагаемых технико-экономических параметров перспективной системы СРВ-СГ показали, что ресурс системы без замены емкости постоянного объема при концентрировании моющего средства от 2–7 до 250 г/л составит 860–1200 л. Коэффициент извлечения чистой воды составит 97–98 %. Для экипажа из 4 человек и длительности полета 3 года удельные затраты массы сменного оборудования системы составят 0,01 кг на 1 кг очищенной воды при ресурсе предфильтров и обратноосмотического модуля 2400 л. Необходимые запасы моющего средства при потреблении СГВ 6 л/(чел.сут) составят от 50 до 180 кг. Как видно, принципиальное значение имеет повышение коэффициента извлечения воды: при коэффициенте извлечения 98 % затраты на восполнение водяного контура составляют 0,025 кг на 1 кг используемой воды.

Выводы

1. Подтверждена эффективность процесса регенерации СГВ методом обратного осмоса. При рабочем перепаде давления 0,8 МПа обеспечивается необходимое качество регенерированной воды с получением степени извлечения воды 97–98 %.

2. Для обеспечения ресурса системы и требуемой очистки СГВ необходимо проведение следующих стадий процесса: предварительная фильтрация; обратноосмотическая очистка; дополнительная дезодорация фильтрата путем сорбционной очистки на активированном угле; обеззараживание и консервация на всех стадиях процесса регенерации и хранения воды, в том числе за счет использования эффективных моющих средств с безопасным для человека обеззараживающим и консервирующим эффектом.

3. Метод расширенной аналогии между тепло- и массообменом позволяет с удовлетворительной точностью проводить расчеты массообменных характеристик, в частности, коэффициента массоотдачи, на основе имеющихся в литературе соотношений для теплообмена при аналогичных гидродинамических условиях.

4. В задачи дальнейших работ входят создание оборудования для санитарно-гигиенических процедур и стирки, работоспособного в условиях космического полета, и проведение совместных испытаний с системой регенерации воды.

Список литературы

1. Бобе Л.С., Кочетков А.А., Романов С.Ю. и др. Перспективы развития регенерационного водообеспечения пилотируемых космических станций // Пилотируемые полеты в космос. 2014. № 2 (11). С. 51–60.

Bobe L.S., Kochetkov A.A., Romanov S.Yu. et al. Prospects of the water supply regeneration development aboard the manned space stations // Pilotiruemye polety v kosmos. 2014. № 2 (11). P. 51–60.

2. Бобе Л.С., Самсонов Н.М., Новиков В.М. и др. Перспективы развития систем регенерации воды обитаемых космических станций // Известия РАН. Энергетика. 2009. № 1. С. 69–78.

Bobe L.S., Samsonov N.M., Novikov V.M. et al. Prospects of the water recovery systems development aboard the manned space stations // Izvestiya RAN. Energetika. 2009. № 1. P. 69–78.

3. Сальников Н.А., Бобе Л.С., Кочетков А.А., Синяк Ю.Е. Особенности регенерации санитарно-гигиенической воды на космической станции // Матер. XVI конференции по космической биологии и медицине с международным участием. (Москва, 5–8 декабря 2016 г.) М., 2016.

Salnikov N.A., Bobe L.S., Kochetkov A.A., Sinyak Yu.E. Aspects of hygiene water recovery aboard the space station // Materialy XVI konferentsii po kosmicheskoy biologii i meditsine s mezhdunarodnym uchastiem. (Moscow, 5–8 December, 2016). Moscow, 2016.

4. ГОСТ Р 50804-95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом корабле. Общие медико-технические требования. Введ. 1995-08-08. М., 1995.

GOST R 50804-95. Cosmonaut's habitable environments on board of manned spacecraft. General medical-technical requirements. Introduced 1995-08-08. Moscow, 1995.

5. Reusa R., Adwards J. Configuration selection of water recovery system for orbital space station «Freedom» // Proc. 4th European symp. on space environmental control systems. Florence, Italy. October, 1991. V. 2. P. 633–642.

6. Samsonov N.M., Abramov L.Ch., Protasov N.N. et al. Hygiene water recovery aboard the space station // Proc. 4th European symp. on space environmental control systems. Florence, Italy. October, 1991. ESA SP-324. V. 2.

7. Бобе Л.С. Технологические процессы систем регенерации воды. М., 1991.

Bobe L.S. Processes of water recovery systems. Moscow, 1991.

8. Бобе Л.С., Синяк Ю.Е., Берлин А.А., Солоухин В.А. Эколого-технические системы. М., 1992.

Bobe L.S., Sinyak Yu.E., Berlin A.A., Soloukhin V.A. Environmental and technical systems. Moscow, 1992.

9. Чижов С.В., Синяк Ю.Е. Водобеспечение экипажей космических кораблей. М., 1973.

Chizhov S.V., Sinyak Yu.E. Water supply for spacecraft crews. Moscow, 1973.

10. Миташова Н.И. Экологические аспекты технологии «влажной» чистки // Современная химчистка и прачечная. 2002. № 3. С. 34–37.

Mitashova N.I. Environmental aspects of «wet» cleaning technology // *Sovremennaya khimchistka i prachechnaya*. 2002. № 3. P. 34–37.

11. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М., 1978.

Dytnerskiy Yu.I. Reverse osmosis and ultrafiltration. Moscow, 1978.

12. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М., 1986.

Dytnerskiy Ju.I. Baromembrane processes. Theory and evaluation. Moscow, 1986.

13. Стариков С.Е., Короткова Т.П., Григорьева Е.Г. Разработка системы регенерации санитарно-гигиенической воды на основе баромембранных процессов для использования на борту межпланетных космических кораблей // Авиакосм. и экол. мед. 2008. № 6/1. С. 72–74.

Starikov S.E., Korotkova T.P., Grigoreva E.G. Designing of a hygiene water processing system based on baromembrane processes for use aboard interplanetary spacecrafts // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2008. № 6/1. P. 72–74.

14. Сальников Н.А., Бобе Л.С. Обоснование разработки системы регенерации санитарно-гигиенической воды для космической станции // Матер. 13-й Междунар. конф. «Авиация и космонавтика». (Москва, 17–21 ноября 2014 г.). М., 2014.

Salnikov N.A., Bobe L.S. Validity of hygiene water processing system development for a space station // *Materialy 13 Mezhdunarodnoy konferentsii «Aviatsiya i kosmonavtika»*. (Moscow, 17–21 November, 2014). Moscow, 2014.

15. Мулдер М. Введение в мембранную технологию: Пер. с англ. М., 1999.

Mulder M. Basic principles of membrane technology. Moscow, 1999.

16. Лазарев С.И. Теоретические и прикладные основы электробаромембранных методов разделения многокомпонентных растворов. Тамбов, 2008.

Lazarev S.I. Theoretical and applied bases of elektrobaromembrane methods for separating multicomponent solutions. Tambov, 2008.

17. Сальников Н.А., Бобе Л.С. Расчетно-экспериментальный анализ массообмена в пограничном слое мембраны при обратноосмотической очистке санитарно-гигиенической воды на космической станции // Матер. 15-й Междунар. Конф. «Авиация и космонавтика». (Москва, 14–18 ноября 2016 г.). М., 2016.

Salnikov N.A., Bobe L.S. Calculating and experimental analysis of mass transfer in a boundary layer of a membrane during the hygiene water purification by the reverse osmosis aboard the space station // *Materialy 15 Mezhdunarodnoy konferentsii «Aviatsiya i kosmonavtika»*. (Moscow, 14–18 November 2016). Moscow, 2016.

Поступила 13.03.2017

REGENERATION OF SANITARY/HYGIENIC WATER ONBOARD FUTURE SPACE STATIONS

Salnikov N.A., Bobe L.S., Kochetkov A.A., Sinyak Yu.E.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 5. P. 47–54

Washing water regeneration system (WWRS) on future space stations is likely to be designed as an independent closed circuit for multiple use of water regenerated after crew washing, and laundry. At present time, WWRS and regeneration process appear to be the least worked up. The article reports the results of experimental testing of reverse osmosis capacity to regenerate water containing one of commonly used liquid antibacterial detergents. Regeneration in the circulation mode takes place in a tank of fixed sizes; reversed osmotic (RO) filtration is followed by additional sorption; multistaged water disinfection goes on as in the course of treatment, so during storage. The RO filtration technology met the requirements for water purity from pollutants and the detergent and microbial growth prevention both in the system and regenerated water; maximum output water was achieved at a reasonable energy expenditure. The main objective of further efforts will be designing and testing a system prototype for testing with the use of washing and cleaning equipment.

Key words: life support system, wash water, regeneration, reversed osmosis.

УДК 537:598.261.7+612.014.426

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОНИЖЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ И ЕГО СОЧЕТАНИЯ С НИЗКОЧАСТОТНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ НА ЭМБРИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ЯПОНСКОГО ПЕРЕПЕЛА

Гурьева Т.С.¹, Дадашева О.А.¹, Ездакова М.И.¹, Спасский А.В.², Лебедев В.М.², Труханов К.А.¹, Медникова Е.И.¹, Грушина О.А.¹

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

²Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

E-mail: gurieva@imbp.ru

В работе описаны эксперименты по воздействию сниженного магнитного поля (МП) на эмбриональное развитие японского перепела. Показано, что инкубирование перепелиных яиц в условиях ослабленного магнитного поля в 100 и 1000 раз в течение 7 и 14 сут вызвали у эмбрионов серьезные нарушения в формировании сердечно-сосудистой системы, морфологии и функционировании отдельных органов. Выявлена прямая зависимость эмбрионального развития перепела и возникновения анатомо-морфологических нарушений от величины ослабления магнитного поля. Максимум воздействия на ангиогенез развивающегося организма и патологию органов зародыша приходится на воздействие ослабленного МП в 1000 раз. Некоторые из нарушений функций систем и органов несовместимы с полноценной жизнедеятельностью перепелов. Полученные результаты развивают и дополняют имеющиеся в литературе данные, что гипомангнитные условия оказывает отрицательное воздействие на организм в стадии развития.

Ключевые слова: гипомангнитные условия, эмбриогенез японского перепела, сосуды желточного мешка, хориоаллантаис, ангиогенез.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 5. С. 55–62.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-5-55-62

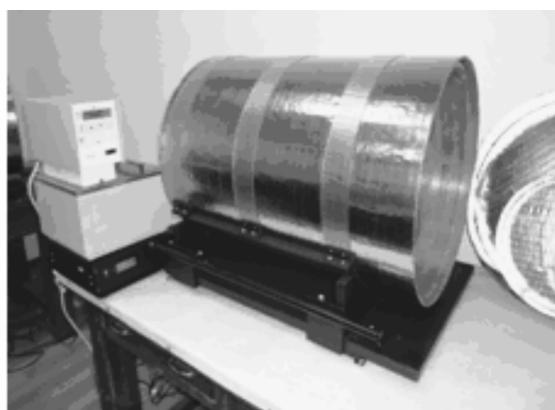
Работа обусловлена проблемой воздействия гипомангнитных условий (ГМУ) на человека и элементы биорегенеративных систем жизнеобеспечения при полетах в дальний космос и при пребывании на небесных телах, не имеющих собственного магнитного поля (Луна, Марс и др.) [1–3]. В работе затронут также вопрос о возможности ослабления воздействия магнитного поля (МП) космического пространства переменными МП систем корабля и космических баз.

В последнее время появляется все больше экспериментальных и теоретических данных, свидетельствующих о важности геомагнитного поля (ГМП) для жизнедеятельности. Биофизики и врачи,

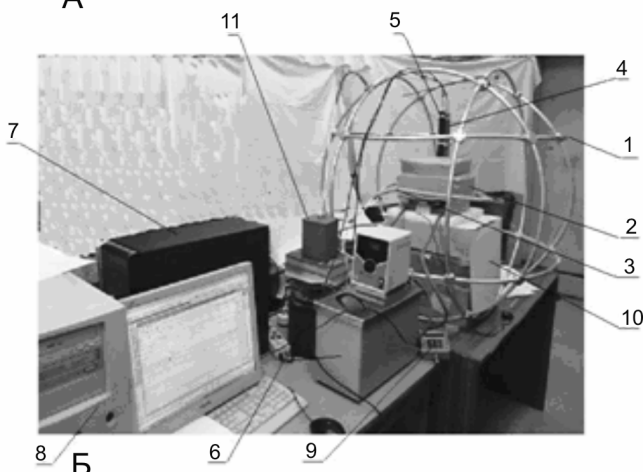
изучающие физиологические процессы в живом организме под влиянием МП, отмечают пагубное воздействие сниженного МП, вызывающего ослабление резистентности организма человека. Особенно серьезное влияние пониженное МП оказывает на систему кровообращения, состояние кровеносных сосудов, активность переноса кислорода через кровь к окружающим тканям, транспортировку питательных веществ через полупроницаемые мембраны клеток [4–6].

В исследованиях по воздействию ГМУ на биологические объекты использовались организмы различных таксономических групп. Так, по данным Н.А. Кривова и К.А. Труханова, при ослаблении ГМП в 700–1000 раз существенно меняется поведение белых крыс-самцов: резко возрастает их агрессивность, наблюдаются изменения в организме [7, 8]. Патологическое действие ГМУ сказывается и на развитии эмбрионов, что свидетельствует о чувствительности зародышей всех видов животных к данному фактору. Так, например, после 5 сут нахождения личинок тритонов в поле 50 нТл на 20-е сутки наблюдали общее замедление развития, неправильное формирование позвоночника и глаз, появлялись двухголовые особи [12]. Влияние ГМУ четко прослеживается при исследовании морфогенетических процессов, а именно на деление и регенерацию клеток у планарий [10]. В поле, ослабленном в 250 раз, останавливался рост двухклеточного зародыша мыши [11], а при инкубировании куриных яиц в поле менее 50 нТл у 20–40 % у вылупившихся цыплят наблюдались парезы ног и крыльев [12]. Таким образом, приведенные данные литературы свидетельствуют, что длительное пребывание биологических объектов в ГМУ приводит к нарушению в живом организме физиологических свойств и функционирования внутренних органов.

Анализ литературы и результаты, полученные в экспериментах по изучению эмбриогенеза японских перепелов (*Coturnix japonica*), развившихся в



А



Б



В

Рис. 1. Аппаратура для проведения экспериментов по оценке воздействия ослабленного МП на эмбриогенез японского перепела.

А – общий вид гипомагнитной камеры ГМК с термостатом -снижение МП в 1000 раз; Б – установка КГ, снижение МП в 100 раз: 1 – система колец Гельмгольца; 2 – инкубатор; 3 – виток с переменным током; 4 – датчик магнитометра системы КГ; 5 – датчик независимого магнитометра; 6 – термостат; 7 – управляемый блок питания КГ; 8 – компьютер; 9 – блок независимого магнитометра; 10 – подставка; 11 - дополнительное реактивное сопротивление витка с переменным током; В – ГМК – установка для проведения контроля

различных экстремальных условиях среды, позволили рассмотреть вопрос об использовании эмбрионов как объекта оценки биологического воздействия ГМУ [13, 14].

Цель данной работы – исследование влияния различной степени ослабления ГМП в 100 и 1000 раз и сочетанного воздействия ГМП, ослабленного в 100 раз, с низкочастотным МП (50 Гц) на эмбриональное развитие японского перепела.

Методика

Объектами исследования являлись эмбрионы японского перепела, развившиеся в условиях ослабленного ГМП (в 100 и 1000 раз), а также сочетанного воздействия на них ГМУ (ослабление в 100 раз) и низкочастотного МП. Длительность эксперимента составила 14 сут.

Собранные от родительского поголовья перепелиные яйца в количестве 46 шт. были пронумерованы и распределены на 3 группы:

1-я группа – яйца в количестве 13 шт. заложены в инкубатор и помещены в установку ГМК (система колец Гельмгольца), где инкубирование проходило в условиях снижения ГМП в 100 раз; (рис. 1, Б);

2-я группа – яйца в количестве 18 шт. были заложены в инкубатор и помещены в магнитную камеру ГМК, где инкубирование проходило в условиях снижения ГМП в 1000 раз; (см. рис. 1, А);

3-я группа – яйца в количестве 14 шт. заложены в инкубатор и помещены в камеру с обычным МП для проведения контрольного инкубирования (см. рис. 1, В).

Для ослабления ГМП использовалась гипомагнитная камера (ГМК), изготовленная на основе рулонного магнитного материала МАР-1К, позволяющая ослабить поле более чем в 1000 раз, и система колец Гельмгольца (КГ) диаметром 90 см, ослабляющая ГМП более чем 100 раз. Величина поля в различных областях камеры контролировалась с помощью магнитометра НВ-0599А («НПО ЭНТ») [15].

Инкубатор представлял собой коробку из органического стекла, внутри которой на специальной подставке находились яйца перепелов. Инкубатор помещался в области с наибольшим ослаблением ГМП в центр установки. Температура среды, в которой происходило развитие эмбрионов, поддерживалась с помощью водяных циркуляционных термостатов типа LOIP LT-108 и TERMEX VT-8. Температура и влажность измерялись спиртовыми термометрами, а также цифровыми гигрометрами/термометрами Echo Terra, оснащенными дистанционными датчиками.

Для исследования влияния сочетанного воздействия ГМП, ослабленного в 100 раз, с низкочастотным МП (50 Гц) на эмбриональное развитие японского перепела в систему КГ в горизонтальной

средней плоскости был добавлен виток диаметром 50 см медного провода диаметром 2 мм, в который через ЛАТР и дополнительное реактивное сопротивление (конденсатор 100 мкФ) пропущен сетевой ток (см. рис. 1, Б).

Контрольный эксперимент выполнялся в инкубаторе, размещенном внутри камеры, аналогичной ГМК, но изготовленной из немагнитного материала (текстолит).

Общий вид и детали установок представлены на рис. 1.

Инкубирование яиц во всех группах проходило с соблюдением режимов: температура $+37,5 \pm 0,5$ °С и влажность 60–68 % [13].

По программе эксперимента на 7-е сутки проводилась выемка яиц из каждой группы: из 1-й группы – 7 шт., из 2-й – 9 шт., 3-й – 7 шт. В этот же день в те же ячейки во всех группах были заложены яйца для повторения данного этапа исследований, т.е. инкубация яиц велась в течение 7 сут. Оставшиеся яйца, заложенные ранее, были извлечены на 14-е сутки.

Для оценки влияния сочетанного воздействия ГМП, ослабленного в 100 раз, и низкочастотного МП на эмбриогенез японского перепела использовалась установка КГ с дополнительным электрическим контуром, который создавал переменное МП 0,5 мкТл с частотой 50 Гц (электрическое поле от контура не превышало нескольких В/м). Длительность эксперимента составляла также 7 сут. Собранные от того же родительского поголовья яйца в количестве 32 шт. были разделены на 2 группы: 1-я опытная группа из 14 яиц помещена в установку КГ, а 2-я группа из 18 яиц – в контрольную камеру.

Обработка биологического материала проходила по следующей схеме. Вскрывали скорлупу яйца в области тупого конца и содержимое выливали в чашку Петри. Визуальный осмотр содержимого яйца и самого эмбриона проводили с помощью лупы с двукратным увеличением и подсветкой. Критериями состояния эмбрионов являются: определение стадии развития эмбриона (соответствие срока инкубации возрасту), оценка состояния желтка, сосудов желточного мешка, белковых оболочек, сосудистого поля и хориоаллонтаиса (ХА). После этого эмбрион осторожно освобождали от оболочек и проводили осмотр с определением его морфологических параметров (массы тела зародыша, длины) и фотографирование [14].

Исследование развития кровеносных сосудов ХА у 7-суточных эмбрионов проводили по методике *in ovo*: яйцо вскрывали с тупого конца и с помощью пипетки вносили 1,5 мл физраствора, затем удаляли подскорлупную оболочку. На ХА наслаивали 1 мл фиксатора (4%-ный параформальдегид и 2%-ный глютаральдегид на фосфатном буфере), через 2 мин надрезали скорлупу и переносили содержимое яйца

в чашку Петри. С помощью пинцета отделяли ХА и монтировали его на предметном стекле. После просушивания в течение суток на воздухе при комнатной температуре такой препарат был готов для морфометрического анализа кровеносных сосудов. Препараты ХА изучали и фотографировали на стереомикроскопе Zeiss Stemi 2000-C. Макроизображения получали с помощью фотокамеры Canon G9, установленной на микроскопе Leica 500. Для морфометрического анализа полученные изображения анализировали с помощью программы *AngioQuant* (Antti Niemisto et al., www.cs.tut.fi), измеряя количество основных ветвей и число отходящих от них сосудов. Общее количество сосудов всех порядков вычислялось путем суммирования показателей. Морфометрию кровеносных сосудов проводили у каждого эмбриона в 3 плоскостях, т.е. для построения графика количество сосудов измерялось в 9 точках. Все измерения проводили в условных единицах [14].

Результаты и обсуждение

В связи с тем что эмбрион птицы развивается вне организма матери, он активно реагирует на различные изменения факторов внешней среды, что дает возможность использовать его для проведения экспериментальных исследований.

Длительность эмбриогенеза японского перепела составляет 17,5–18 сут. В эмбриональном развитии японского перепела можно выделить 4 возрастных критических этапа: 4, 7, 10 и 15–16-е сутки развития, которые отличаются не только анатомическими и морфометрическими данными, но и особыми формами обмена. В начальные периоды эмбриогенеза зародыш перепела более восприимчив к внешним факторам среды, реагируя на любые воздействия. Зная норму развития зародыша, когда и как развиваются органы и отдельные системы, можно предположить, какое влияние могут оказать те или иные факторы внешней среды. А прижизненная фиксация эмбрионов японского перепела позволяет сравнить особенности их развития в различных условиях инкубирования в опыте и контроле.

Известно, что образование кровеносной системы у птиц является критическим для гарантии собственного роста и дифференцировки всех тканей развивающегося организма благодаря ее участию в доставке кислорода и питательных веществ.

Результаты эмбрионального развития перепела в течение 7 сут в условиях ГМУ с ослаблением в 100 раз показали, что 66,7 % эмбрионов (от заложенных яиц) были живыми, из которых 53 % соответствовали сроку развития, а остальные по анатомо-морфологическим признакам отставали в развитии на 2–3 сут и 2 эмбриона погибли на ранних стадиях развития (таблица). Анализ



Рис. 2. Развитие сосудов хориоаллантаоиса у 7-суточных эмбрионов, развившихся в различных ГМУ. А – в контрольной группе в ГМП; Б – при снижении ГМП в 100 раз; В – при снижении ГМП в 1000 раз. Ув х60

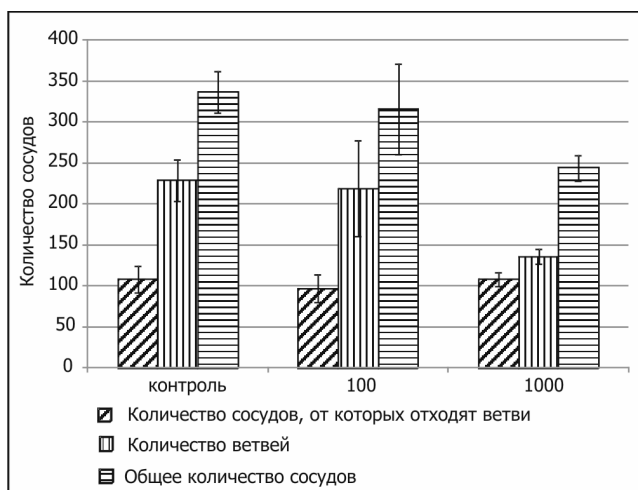


Рис. 3. Сравнительные данные количества кровеносных сосудов хориоаллантаоиса у 7-суточных эмбрионов, развившихся в условиях контроля и ослабленного ГМП

анатомо-морфологического состояния 7-суточных подопытных эмбрионов выявил наличие нарушений в сосудистой системе: основные сосуды желточного мешка извилистые со слаборазвитой капиллярной системой (рис. 2, Б). У 2 эмбрионов выявлена патология в развитии глаза – микрофтальмия левого глаза.

Результаты обработки эмбриологического материала, полученного при инкубировании перепелиных яиц в условиях снижения ГМП в 1000 раз, показали, что 83,3 % эмбрионов были живыми и соответствовали контролю (масса тела составляет $0,466 \pm 0,12$ г). Однако у 50 % из них, имелись признаки нарушения развития сосудов: наличие суженных сосудов I и II порядка, меньшая площадь разветвленных сосудов чем в контроле (см. рис. 2, В, А). При вскрытии яйца отмечалась ломкость кровеносных сосудов, выражавшаяся в кровоизлияниях в различные части тела (в затылочной области головы и шеи, на коже туловища), а также у 50 % эмбрионов в желточном мешке обнаружено много желчи.

В норме закладка сосудистого поля желточного мешка у перепелиных зародышей происходит на 2-е сутки инкубации и первичные кровяные клетки образуются из внезародышевой мезодермальной мезенхимы. Просветы сосудов составляют несколько микрон. К 4-м суткам количество кровеносных сосудов заметно увеличивается и в просветах их появляются гемоцитобласты, эритробласты и первичные эритроциты. Сосудистая система желточного мешка представлена желточной артерией, от которой отходят передние, задние и боковые разветвления (сосуды I и II порядка). У 7-суточных эмбрионов поверхность сосудистой системы увеличивается, продолжается интенсивный интраваскулярный гемопоэз. К сосудистой системе желточного мешка присоединяется сосудистая сеть ХА, который берет на себя функцию газообмена.

В контрольной группе из 14 вскрытых яиц 10 эмбрионов по анатомо-морфологическим показателям соответствовали норме развития (масса тела $0,458 \pm 0,23$ г).

Таким образом, результаты исследования влияния сниженного МП Земли в 100 и 1000 раз в течение 7 сут на эмбриональное развитие японского перепела выявили серьезные изменения в развитии кровеносных сосудов желточного мешка и ХА, что подтверждает ранее полученные данные о воздействии ослабленного МП на ранний период эмбриогенеза перепела [16]. На рис. 2 представлены сосуды ХА у 7-суточных эмбрионов контрольной (А) и 2 подопытных групп (Б и В), где достоверно видно, что общее количество сосудов меньше у эмбрионов, развившихся в условия снижения ГМП в 1000 раз (см. рис. 2, В). Следует отметить, что представленные на рис. 3 сравнительные данные развития кровеносных сосудов ХА выявили прямую зависимость между снижением уровня МП и общим количеством сосудов. Максимум воздействия на ангиогенез приходится на группу зародышей, развитие которых проходило в условиях ослабления ГМП в 1000 раз. Из этого можно сделать вывод: выраженность и направленность обнаруженных сдвигов в живом организме при исследованных величинах ослабления

Результаты инкубирования перепелиных яиц в условиях ослабления ГМП и лабораторного контроля

Наименование позиций / группы	Опытные группы. Ослабление ГМП Земли				Контрольная группа	
	в 100 раз		в 1000 раз			
	7 сут	14 сут	7 сут	14 сут	7 сут	14 сут
Заложено на инкубирование яиц, шт.	15	6	18	9	14	8
Живые эмбрионы, всего шт. Соответствие возрасту: 7 сут 6–7 сут	10 8 2	4	16 15 1	6	10	6
Соответствие возрасту: 14 сут		4		6		6
Погибли: всего шт. На стадии развития: 1–2 сут 5–6 сут	2 2	2 2	2 2		2	2 2
Неоплодотворенные яйца	3	-	-	3	2	-

ГМП (100 и 1000 раз) имеют определенную зависимость от них.

В норме на 14-е сутки развития у эмбриона японского перепела кровеносная система желточного мешка достигла полного развития и образовались анастомозы между сосудами желточного мешка и ХА в месте их слияния. ХА в основном участвует в использовании организмом зародыша макро- и микроэлементов, в том числе кальция скорлупы. Соединяясь с углекислотой, кальций поступает в кровь сосудов аллантаиса, который необходим для построения костной системы. На этом этапе развития эмбрион сформирован и находится на стадии предвылупления из яйца.

В таблице представлены результаты инкубирования яиц в течение 14 сут в условиях снижения МП в 100 раз, которые показали, что 66,6 % зародышей (масса тела $4,458 \pm 0,21$ г) соответствовали сроку инкубации, а 2 погибли на 3–4-е сутки. Визуальный осмотр подопытных зародышей выявил четко выраженные изменения, связанные с развитием сосудов: сосуды ХА были слабо развиты и разветвление мелких сосудов (капилляров) меньше, чем в контроле. К тому же у зародышей этой группы была выявлена патология в развитии глаз (двусторонняя микрофтальмия и анафтальмия), клюва (нижняя пластинка длиннее верхней) (рис. 4, Б). При детальном исследовании с помощью стереоскопического микроскопа в 1 яйце было обнаружено 2 погибших зародыша 3–4-х суток развития, находившихся в одном амнионе. Причем у обоих отмечена двусторонняя микрофтальмия, микроцефалия, эктопия, анемия головы и позвоночника, на коже вдоль позвоночника, бедер и плеча встречаются островки меланина. Известно, что меланин, синтезируемый в живом организме, участвует в ликвидации стрессового воздействия. Меланин дезактивирует свободные радикалы, возникающие

после облучения организма ультрафиолетом и ионизирующим излучением. Согласно исследованиям И.Б. Моссэ, Л.П. Жаворонкова и соавт., меланин является уникальной основой средства профилактики генетических и онтогенетических последствий облучения. Меланин является одним из самых мощных антиоксидантов [17, 18].

Анализ 14-суточных эмбрионов, развившихся в ГМУ с ослаблением в 1000 раз, показал, что процент живых эмбрионов в этой группе был практически такой же, как и в предыдущей, и составлял 66,7 %, 2 погибли на 1–2-е сутки развития, 1 яйцо – неоплодотворенное. Следует отметить, что у 3 живых зародышей, помимо патологий в развитии глаза и эктопии брюшной полости, обнаружено в желточном мешке много желчи (см. рис. 4, В). По-видимому, это связано с нарушением развития кровеносных сосудов желточного мешка и ХА, которое приводит к недостатку обеспечения развивающегося организма питательными веществами и как результат вызывает изменения в обмене веществ, подавляя метаболизм и ухудшая экскрецию продуктов распада [19].

Результаты эксперимента сочетанного воздействия в течение 7 сут ослабленного в 100 раз ГМП (0,5 мкТл) и дополнительного влияния МП той же величины (0,5 мкТл), с частотой 50 Гц на эмбриональное развитие японского перепела показали, что из 14 заложенных яиц живыми были 12 (86 %), из которых 9 эмбрионов соответствовали сроку и норме развития, 3 зародыша по анатомо-морфологическим признакам были 6-суточными, а 1 яйцо – неоплодотворенное. Следует отметить, что, несмотря на достаточно высокий процент живых эмбрионов, у большинства зародышей (у 8 из 12 зародышей) имелись нарушения в развитии кровеносной системы, выразившиеся в аномалии развития сосудов: сосуды 1-го порядка желточного мешка и ХА короткие, капилляры мелкие и короткие,

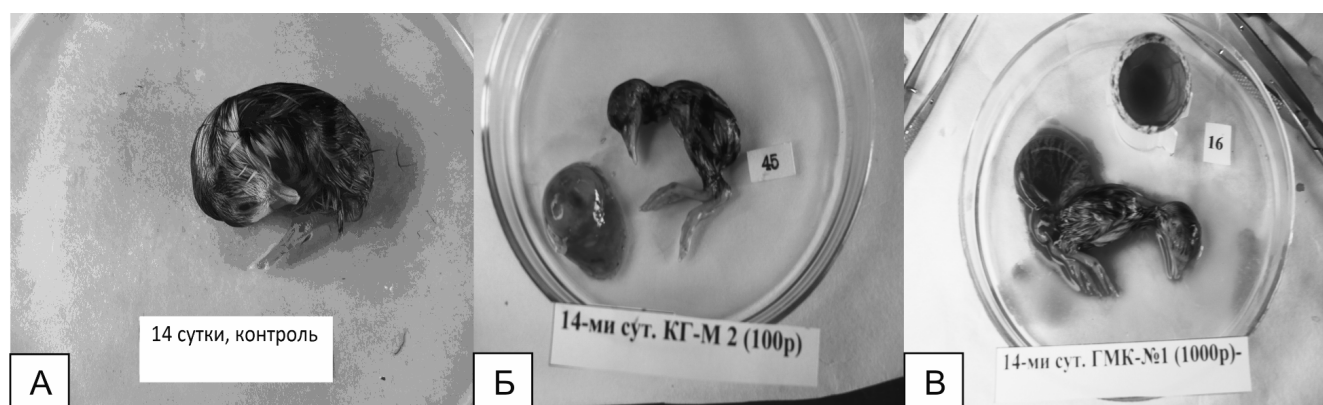


Рис. 4. 14-суточные эмбрионы японского перепела, развившиеся в условиях ослабления МП.

Лабораторный контроль: А – норма развития. Аномалии в развитии эмбрионов: Б – при сниженном МП в 100; В – при сниженном МП в 1000 раз

слабого кровенаполнения. При извлечении эмбриона из яйца на теле зародыша появлялись точечные кровоизлияния из-за разрыва кровеносных сосудов. При анатомо-патологическом вскрытии эмбриона кровоизлияния были обнаружены и в брюшной полости. По-видимому, эти изменения связаны с нарушениями в кровеносной системе у развивающегося организма, а именно снижается скорость кровотока и коллоидно-осмотическое давление в капиллярах, что приводит к гипоксии тканей [20].

Таким образом, полученные результаты по инкубированию перепелиных яиц в условиях ГМП с различной степенью ослабления (в 100 и в 1000 раз) выявили изменения в развитии ангиогенеза, согласующиеся с приведенными В.П. Казначеевым данными, что «развитие куриных эмбрионов в гипоманнитных условиях вызывало нарушения сосудистого рисунка и очаговые расширения мелких сосудов в миокарде желудочков сердца» [12].

К сожалению, механизм патогенеза эмбрионов японского перепела, развившихся в условиях ослабленного МП, неясен и у исследователей нет единой точки зрения. Однако можно предположить, что эти изменения могут быть связаны с нарушениями генетической программы в эмбриональном развитии организма, и прежде всего в развитии кровеносной системы, в частности, в ангиогенезе, которые появляются в 1-е сутки развития и являются основой изменений в гемопоэзе.

Выводы

1. Эксперименты по исследованию влияния ослабленного ГМП в 100 и 1000 раз на ангиогенез японского перепела показали, что у зародышей происходит серьезные нарушения в развитии сердечно-сосудистой системы, морфологии и функционировании отдельных органов.

2. Выявлена прямая зависимость нарушений в эмбриогенезе японского перепела от величины ослабления ГМП. Максимум воздействия на ангиогенез развивающегося организма японского перепела приходится на ГМП, ослабленного в 1000 раз.

3. Сочетанное воздействие ГМУ с ослаблением ГМП в 100 раз (до 0,5 мкТл) и дополнительного МП 0,5 мкТл, частотой 50 Гц на эмбриональное развитие японского перепела приводило к усилению эффектов воздействия ГМУ на развивающийся организм, вызывая у зародышей кровоизлияния.

4. Одним из возможных решений проблемы воздействия ГМУ на человека и живые системы при дальних космических полетах и при длительном пребывании на небесных, не имеющих МП, является создание искусственного аналога ГМП на борту корабля и космических базах.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ЦНИИмаш и с использованием оборудования, приобретенного НИИЯФ МГУ за счет Программы развития Московского университета.

Список литературы

1. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л., 1974.
Dubrov A.P. Geomagnetic field and life. Leningrad, 1974.
2. Труханов К.А. Некоторые магнитобиологические аспекты длительных и дальних космических полетов // Радиационная биология. Радиоэкология. 2003. Т. 43. № 5. С. 584–589.
Trukhanov K.A. Some magnetobiological aspects of long-term and long-distance space flights // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 2003. V. 43. № 5. P. 584–589.
3. Труханов К.А. Космические проблемы магнитобиологии // Труды Междунар. конф. «Влияние

- космической погоды на человека в космосе и на Земле». (Москва, 4–8 июня 2012 г.). М., 2013. Т. 1. С. 249–268.
- Trukhanov K.A. Problems of cosmic magnetobiology // Proc. the International conference «Space effects on humans in space and on earth». (Moscow, 4–8 June 2012). Moscow, 2013. V. 1. P. 249–268.
4. Агаджанян Н.А., Макарова И.И. Магнитное поле Земли и организм человека // Экология человека. 2005. № 6. С. 3–7.
- Agadzhanyan N.A., Makarova I.I. Earth's magnetic field and the human body // *Ekologiya cheloveka*. 2005. № 6. P. 3–7.
5. Походзей Л.В. Гипогеомагнитные поля как один из неблагоприятных факторов среды // Матер. Междунар. совещания «Электромагнитные поля. Биологическое действие и гигиеническое нормирование» / М.Х. Репачоли, Н.Б. Рубцова, А.М. Муц, ред. Женева, 1999. P. 237–246.
- Pokhodzey L.V. Hypogeomagnetic fields as one of the adverse factors of the environment // Materials of the International Meeting «Electromagnetic fields. Biological effect and hygienic regulations» / M.H. Repacholi, N.B. Rubtsova, A.M. Mutz, eds. Geneva, 1999. P. 237–246.
6. Гурфинкель Ю.И., Васин А.Л., Матвеева Т.А., Сасонко М.Л. Оценка влияния гипомагнитных условий на капиллярный кровоток, артериальное давление и частоту сердечных сокращений. // *Авиакосм. и экол. мед.* 2014. Т. 48. № 2. С. 24–30.
- Gurfinkel Yu.I., Vasin A.L., Matveeva T.A., Sasonko M.L. Evaluation of the hypomagnetic environment effects on capillary blood circulation, blood pressure and heart rate // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2014. V. 48. № 4. P. 24–30.
7. Кривова Н.А., Труханов К.А., Замощина Т.А. и др. Повышение агрессивности крыс при экспозиции в условиях гипогеомагнитного поля // Там же. 2008. Т. 42. № 6/1. С. 30–32.
- Krivova N.A., Trukhanov K.A., Zamoshina T.A. Increase the aggressiveness of rats under hypogeomagnetic field conditions exposure // *Ibid*. 2008. V. 42. № 6/1. P. 30–32.
8. Кривова Н.А., Труханов К.А. Брать ли на Марс магнитное поле Земли? // *Наука в России*. 2010. № 3. С. 4–9.
- Krivova N.A., Trukhanov K.A. Do we have to take Earth's magnetic field to Mars? // *Nauka v Rossii*. 2010. № 3. P. 4–9.
9. Леднев В.В. Биоэффекты слабых комбинированных постоянных и переменных магнитных полей // *Биофизика*. 1996. Т. 41. С. 224–234.
- Lednev V.V. Bioeffects of weak combined constant and variable magnetic fields // *Biofizika*. 1996. V. 41. P. 224–234.
10. Asashima M., Shimada R., Pfeifer C.J. Magnetic shielding induced early developmental abnormalities in the newts // *Bioelectromagnetics*. 1991. V. 12. P. 215–224.
11. Osepenko M.A., Mezhevnikina L.M., Petrova R.R. Role of calcium ions in regulation of growth of mouse embryonic stem cells in vitro // British-Russian Workshop in association with the European Commission. «Stem cells: policy, research, and innovations. European Union – Russian Federation perspectives». 2007. P. 2–3.
12. Казначеев В.П., Михайлова Л.П. Биоинформационная функция естественных электромагнитных полей. Новосибирск, 1985.
- Kaznacheev V.P., Mikhailova L.P. Bioinformational function of natural electromagnetic fields. Novosibirsk, 1985.
13. Гурьева Т.С., Мелешко Г.И., Дадашева О.А., Бодя К. Эмбриональное развитие птиц в условиях невесомости // *Косм. биология и авиакосм. мед.* 1991. Т. 25. № 1. С. 37–39.
- Gurieva T.S., Meleshko G.I., Dadasheva O.A., Boda K. The embryonic development of birds in weightlessness conditions // *Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina*. 1991. T. 25. № 1. P. 37–39.
14. Ездакова М.И., Андреева Е.Р., Гурьева Т.С. и др. Отработка подходов для изучения ангиогенеза in ovo и ex ovo на хориоаллантаоисной оболочке яиц японского перепела // *Технологии живых систем*. 2014. Т. 11. № 5. С. 60–65.
- Ezidakova M.I., Andreeva E.R., Gurieva T.S. et al. Development of approaches to study angiogenesis in ovo and ex ovo on eggs chorioallantois shell of the Japanese quail // *Tekhnologiya zhivyykh sistem*. 2014. V. 11. № 5. P. 60–65.
15. Круглов О.С., Гурьева Т.С., Дадашева О.А. и др. О гипомагнитной безопасности дальних космических полетов // *Труды Межвуз. науч. школы молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине»*. 2012. С. 83–86.
- Kruglov O.S., Gurieva T.S., Dadasheva O.A. et al. On hypomagnetic safety of long-term space flights // Materials of the scientific school of young specialists «Concentrated energy flows in space equipment, electronics, ecology and medicine». 2012. P. 83–86.
16. Труханов К.А., Гурьева Т.С., Дадашева О.А. и др. Эмбриогенез японского перепела в гипомагнитных условиях применительно к дальним космическим полетам // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2014. Т. 54. № 2. С. 179–185.
- Trukhanov K.A., Gurieva T.S., Dadasheva O.A. et al. Embryogenesis of the Japanese quail in hypomagnetic conditions with regard to deep space missions // *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. 2014. V. 54. № 2. P. 179–185.
17. Жеребин Ю.М., Сава В.М., Колесник А.А., Богатский А.В. Исследования антиокислительных свойств эноmelанина // *Доклады АН СССР*. 1982. Т. 262. № 1. С. 112–115.
- Zhereben Yu. M., Sava V.M., Kolesnik A.A., Bogatsky A.V. Study of enomelanin antioxidant properties // *Doklady AN SSSR*. 1982. V. 262. № 1. P. 112–115.
18. Моссэ И.Б., Кострова Л.Н., Дубовик Б.В. и др. Влияние меланина на мутагенное действие хронического облучения и адаптивный ответ у мышей // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 1999. Т. 39. № 2–3. С. 329–333.
- Mosse I.B., Kostrova L.N., Dubovik B.V. et al. The melanin effect on the mutagenic action of chronic irradiation and adaptive response in mice // *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. 1999. V. 39. № 2–3. P. 329–333.

19 Рольник В.В. Биология эмбрионального развития птиц. Л., 1968.

Rolnik V.V. Biology of birds' embryonic development. Leningrad, 1968.

20. Гурьева Т.С., Дадашева О.А., Солдатов П.Э. и др. Влияние гипоксических аргоносодержащих газовых смесей на развивающийся организм // Авиакосм. и экол. мед. 2008. Т. 42. № 4. С. 40–43.

Gurieva T.S., Dadasheva O.A., Soldatov P.E. et al. Hypoxic gas mixtures impact on the developing organism // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2008. V. 42. № 4. P. 40–43.

Поступила 13.02.2017

STUDY OF THE EFFECT OF A WEAKENED GEOMAGNETIC FIELD AND ITS COMBINATION WITH A LOW-FREQUENCY MAGNETIC FIELD ON THE EMBRYONIC DEVELOPMENT OF JAPANESE QUAILS

Gurieva T.S., Dadasheva O.A., Ezbekova M.I., Spasskiy A.V., Lebedev V.M., Trukhanov K.A., Mednikova E.I., Grushina O.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 5. P. 55–62

The paper describes experiments on the effects of a weakened magnetic field (MF) on embryonic development of Japanese quails. It was shown that incubation of quail eggs in 100 to 1.000 times weakened MF over 7 and 14 days induced grave disorders in the embryonic cardiovascular system, as well as in morphology and functioning of individual organs. There is a direct dependence of the quail embryonic development and appearance of anatomic and morphologic abnormalities on the level of MF attenuation. Maximal impact on angiogenesis and incidence of embryonic organ pathologies have been brought about by incubation in 1.000 times weakened MF. Some functional disorders in systems and organs were incompatible with life. These findings confirm and expand the existing literary data about the negative consequences of hypomagnetic environments for developing organism.

Key words: hypomagnetic environment, Japanese quail embryogenesis, yolk bag vessels, chorioallantois, angiogenesis.

УДК 611.383+612.014.482.001.42

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ БРЫЖЕЕЧНЫХ ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ У МЫШЕЙ В РЕАБИЛИТАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО СОЧЕТАННОГО РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Кварацхелия А.Г.¹, Клочкова С.В.^{2,3}, Алексеева Н.Т.¹, Тутельян В.А.⁴, Никитюк Д.Б.^{3,4}, Мухамедиева Л.Н.⁵

¹Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко Минздрава России

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

³Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России

⁴Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва

⁵Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: alexeevant@list.ru

Изучены структурные характеристики брыжеечных лимфатических узлов у мышей-самцов линии F1 (СВА х С57/BL6) в возрасте 30–35 дней, массой 20–23 г к началу эксперимента, подвергшихся облучению с помощью γ-установки ГОБО-60 с источником ¹³⁷Cs. Непосредственная продолжительность воздействий на мышей осуществлялась в течение 63 сут, максимальная длительность наблюдаемого реабилитационного периода – 90 сут. Мощности дозы источника излучения – 25 сГр в ч. Мышей облучали 10 фракциями еженедельно по 50 сГр. Мыши в итоге получили предварительно суммарное облучение 350 сГр. Далее мышей подвергали 70-суточному химическому воздействию парами ацетона, ацетальдегида и этанола. Целью работы явилось изучение морфологических характеристик брыжеечных лимфатических узлов у мышей на протяжении 3-месячного периода после окончания длительных сочетанных радиационно-химических воздействий. Поперечные гистологические срезы брыжеечных лимфатических узлов толщиной 5–7 мкм окрашивали гематоксилином-эозином и по Ван Гизону. Показано, что после воздействия наблюдаются уменьшение размеров брыжеечных лимфатических узлов, длины, ширины и площади лимфоидных узелков, увеличение толщины капсулы лимфатических узлов, их трабекул, расширение лимфатических синусов, сужение мякотных тяжей. Клеточный состав лимфоидной ткани восстанавливается лишь на 90-е сутки реабилитационного периода, когда процентное содержание лимфоцитов, лимфобластов, макрофагов, плазмоцитов, клеток в состоянии дегенерации соответствует контролю.

Ключевые слова: брыжеечные лимфатические узлы, факторы космического полета, радиационное облучение, химическое воздействие.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 5. С. 63–69.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-5-63-69

Существенная структурно-функциональная изменчивость, динамичность и лабильность морфологической перестройки лимфоидных органов справедливо позволяет использовать их в различных экспериментально-анатомических исследованиях в качестве своеобразных биологических маркеров [1–5]. Существенный научно-практический интерес представляет и их исследование при моделировании действия тех факторов, которые воздействуют на организм в условиях замкнутого пространства космического корабля при длительных космических полетах (КП) [6]. Эти факторы, как правило, имеют сочетанный характер, включая и радиационные, и химические воздействия смесей газов в малых концентрациях (пары этанола, ацетальдегида, этанола) [7–9].

Исследование органов иммунной системы при изучении воздействия типичных факторов КП, однако, ограничивается непосредственным периодом их влияния. Особенности реабилитационного периода, во многом связанного с эффективностью регенераторных потенциалов лимфоидной ткани, как правило, остаются вне поля исследования морфологов. Вместе с тем качество жизни и состояние здоровья непосредственно связано с состоянием иммунной системы. Поэтому морфологический статус лимфоидных органов после окончания экспериментального воздействия факторов КП требует изучения на протяжении длительного реабилитационного периода.

Целью работы явилось изучение морфологических характеристик брыжеечных лимфатических узлов у мышей на протяжении 3-месячного периода после окончания длительных сочетанных радиационно-химических воздействий.

Методика

Изучили структурные характеристики брыжеечных лимфатических узлов у мышей-самцов линии F1 (СВА х С57/BL6), в возрасте 30–35 дней, массой 20–23 г к началу эксперимента в соответствии с методикой ГНЦ РФ – ИМБП РАН [10].

Мыши находились в гермокамерах с рабочим объемом 12 м³. Исследования проводили на испытательном стенде для санитарно-химических и токсикологических исследований (УМБИ-1), оснащенном автономными системами жизнеобеспечения, используемыми в пилотируемых космических аппаратах. Эксперимент проводился в течение 223 сут. Длительное комбинированное воздействие радиационного и химических факторов осуществляли последовательно. Сначала мышей подвергали 63-суточному облучению с помощью γ -установки ГОБО-60 с источником ¹³⁷Cs. Мощности дозы источника излучения – 25 сГр в ч. Облучение проводилось 1 раз в неделю по 2 ч в утреннее время суток. Мышей облучали 10 фракциями еженедельно по 50 сГр. В итоге мыши получили предварительно суммарное облучение 350 сГр. Доза максимального экспериментального облучения у мышей (350 сГр), с учетом разницы в продолжительности жизни и чувствительности к радиационному воздействию мыши и человека, соответствует дозе облучения 120 сГр для человека, что составляет для него предельно допустимый уровень, установленный для длительных межпланетных пилотируемых полетов [11]. Затем мышей подвергали 70-суточному химическому воздействию парами ацетона, ацетальдегида и этанола, в концентрациях на уровнях ПДК для пилотируемых КП 0,67–1,4 мг/м³ (ацетон), 0,86–1,75 мг/м³ (ацетальдегид) и 3,78–9,91 мг/м³ (этанол). В эксперименте использовали 75 мышей вышеуказанных параметров: 25 мышей умерщвляли после окончания экспериментального воздействия радиации с последующим действием химических смесей; 40 мышей – в разные сроки восстановительного периода – в сроки 4, 28, 60 и 90 сут (по 10 мышей в каждой группе); каждой экспериментальной группе животных соответствовал адекватный контроль (10 мышей). Содержание и выведение животных из эксперимента проводились в соответствии с требованиями Женевской конвенции (Женева, Швейцария, 1990). Животных забивали методом цервикальной дислокации сразу после окончания соответствующих воздействий. План проведения экспериментального исследования одобрен на заседании локального этического комитета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России.

Поперечные гистологические срезы брыжеечных лимфатических узлов толщиной 5–7 мкм окрашивали гематоксилином-эозином и по Ван Гизону.

Количество и размерные показатели лимфоидных образований определяли путем визуальной микроскопии и морфометрии с использованием тринокулярного микроскопа AmScore. Определение площади, длины, ширины лимфоидных образований производили на цифровых микрофотографиях, полученных на телеметрической установке, состоящей из светового микроскопа, персонального компьютера и видеокамеры. На микрофотографиях лимфатические узлы выделяли в программе Adobe PhotoShop CS5, пользуясь опцией «магнитное лассо», позволяющей проводить выделение фигур произвольной формы.

Полученные значения выражали в виде $X \pm Sx$, где X – среднее значение изучаемого показателя; Sx – средняя ошибка выборки. Статистический анализ проведен с помощью компьютерной программы Statistica 10.0. Для статистической обработки полученных результатов использовали t -критерий Стьюдента (в случае нормального распределения), критерий Манна – Уитни (для остальных вариантов распределения), достоверность доли выборки определяли по методу Фишера. Полученные данные подвергли однофакторному дисперсионному анализу (ANOVA). Статистически значимыми считали результаты при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Морфологический анализ показал, что у мышей брыжеечные лимфатические узлы в количестве 2–4, располагающиеся в области корня брыжейки тонкой кишки, имели округлую, овоидную и просовидную форму. На их поперечном срезе насчитывалось в среднем 15 лимфоидных узелков (75–77 % из них с центром размножения) длиной 84–89 мкм, шириной – 54–57 мкм. Абсолютное количество клеток лимфоидного ряда варьировалось от 25 (на площади среза 880 мкм²) у мякотных тяжей, до 30 клеток – в диффузной лимфоидной ткани и 36 клеток составляла мантия лимфоидных узелков с центром размножения. Лимфоидная ткань этих образований была качественно однотипна, образована преимущественно лимфоцитами (70–75 % всех клеток лимфоидного ряда), ретикулярными клетками (13–16 %), макрофагами, плазмоцитами, клетками с картиной митоза, дегенеративно измененными клетками.

После окончания экспериментального воздействия наблюдались существенные «депрессивные» изменения брыжеечных лимфатических узлов у мышей. Они проявлялись достоверным по сравнению с контролем уменьшением их размеров, длины, ширины и площади лимфоидных узелков (табл. 1), что согласуется с данными других авторов о морфологических изменениях в лимфоидных узлах, наблюдавшихся при радиационном и химических

Таблица 1

Количество и размеры лимфоидных узелков на поперечном срезе брыжеечных лимфатических узлов у мышей в разные сроки реабилитационного периода после последовательных радиационного и химического воздействий ($X \pm Sx$; min–max)

Параметр (размерность)	Группа наблюдений	Значение на начало реабилитационного периода	Срок реабилитационного периода, сут			
			4-е сутки	28-е сутки	60-е сутки	90-е сутки
Количество ЛУ	Э	8,5 ± 0,36** 5–12	7,4 ± 0,54** 4–9	8,2 ± 0,43** 6–10	9,7 ± 0,5** 7–12	11,0 ± 0,65** 8–15
	К	15,4 ± 0,97 9–18	15,0 ± 0,76 10–17	14,7 ± 0,76 11–18	15,1 ± 0,7 11–18	14,7 ± 0,54 11–16
Длина ЛУ с центром размножения, мкм	Э	54,07 ± 0,49** 50,1–59,5	56,4 ± 1,98** 49,5–67,8	57,9 ± 2,07** 50,0–69,2	64,2 ± 2,05** 58,7–77,0	84,3 ± 2,03 74,2–93,0
	К	85,2 ± 1,93 76,5–94,4	86,2 ± 2,36 75,9–97,8	85,8 ± 2,36 76,4–98,4	86,3 ± 2,34 75,7–97,4	85,2 ± 2,16 75,0–95,0
Ширина ЛУ с центром размножения, мкм	Э	43,6 ± 0,75** 39,9–54,7	49,4 ± 1,00** 45,6–54,9	62,2 ± 1,93** 50,0–67,9	65,8 ± 2,00** 53,4–72,0	76,5 ± 1,97 65,0–83,2
	К	75,5 ± 0,72 66,2–80,3	75,5 ± 2,33 65,4–87,0	76,0 ± 2,23 64,2–84,9	76,5 ± 2,15 64,3–84,2	77,0 ± 2,20 64,1–84,6
Площадь ЛУ с центром размножения на срезе, мм ² × 10 ⁻⁴	Э	47,2 ± 0,88** 37,2–54,5	50,4 ± 1,08** 48,2–58,2	52,4 ± 1,08** 48,2–58,2	54,0 ± 1,21** 45,1–56,3	63,0 ± 1,39 52,2–65,1
	К	57,7 ± 0,68 51,4–64,7	64,2 ± 1,24 56,7–67,9	63,5 ± 1,49 54,2–68,0	62,3 ± 1,29 56,0–67,9	63,4 ± 1,460 53,4–66,9
Число ЛУ с центром размножения на срезе лимфоидного узла*	Э	22,2 ± 0,96** 10,6–29,4	28,3 ± 1,56** 20,0–34,4	51,1 ± 1,71** 44,2–60,0	54,0 ± 2,28** 55,2–66,3	70,0 ± 2,49 65,2–87,3
	К	75,3 ± 2,08 67,8–87,1	75,6 ± 2,34 67,2–88,9	76,9 ± 2,55 64,2–87,9	74,8 ± 2,35 65,2–87,0	75,4 ± 2,46 64,2–87,0
Число ЛУ без центра размножения на срезе лимфоидного узла*	Э	77,8 ± 1,08** 70,0–80,0	71,7 ± 1,14** 64,2–74,8	48,9 ± 1,31** 42,2–54,4	46,9 ± 1,46** 38,4–52,0	30,0 ± 1,19 24,4–35,5
	К	24,7 ± 1,11 18,5–28,8	24,4 ± 0,97 17,6–26,6	23,1 ± 0,92 17,0–25,6	25,2 ± 0,93 18,5–27,2	24,6 ± 0,95 18,4–27,2
Длина центра размножения, мкм	Э	27,4 ± 0,54** 20,4–37,0	22,4 ± 0,85** 19,0–26,9	25,4 ± 0,74** 21,0–27,9	32,4 ± 0,96** 28,0–36,9	31,4 ± 0,74** 29,0–35,9
	К	45,3 ± 1,42 38,4–51,6	45,8 ± 1,24 37,0–48,5	40,6 ± 1,67 34,4–49,9	43,6 ± 2,47 34,0–56,9	43,3 ± 1,61 36,0–50,9
Ширина центра размножения, мкм	Э	25,4 ± 0,39** 20,6–28,4	25,5 ± 0,84** 20,0–27,8	26,5 ± 0,56** 21,6–26,8	26,5 ± 0,78** 21,6–33,8	38,5 ± 1,87 27,6–44,8
	К	32,6 ± 1,11 27,4–37,7	36,2 ± 1,03 29,5–39,1	36,9 ± 1,18 28,4–39,4	37,4 ± 1,31 28,0–40,2	36,2 ± 1,23 28,1–39,5
Площадь центра размножения на срезе, мм ² × 10 ⁻⁴	Э	19,8 ± 0,21** 18,2–22,4	20,5 ± 0,88** 15,6–23,8	20,5 ± 1,20** 15,6–26,8	22,5 ± 1,20** 15,6–26,8	34,5 ± 1,42 25,6–38,8
	К	35,7 ± 1,64 23,1–38,3	36,2 ± 0,83 29,1–39,8	34,7 ± 0,83 28,1–38,8	35,1 ± 1,16 28,1–38,9	34,7 ± 1,26 28,1–39,8
Длина ЛУ без центра размножения, мкм	Э	42,6 ± 0,93** 37,5–55,8	54,2 ± 0,96** 50,0–58,9	56,2 ± 1,29** 50,0–62,1	58,2 ± 2,49** 45,0–68,1	74,2 ± 1,96 70,0–88,1
	К	76,4 ± 1,94 71,2–89,2	76,4 ± 1,94 71,2–89,2	75,8 ± 1,94 71,3–89,4	77,2 ± 1,94 71,5–89,4	74,4 ± 1,94 70,0–89,4
Ширина лимфоидного узелка без центра размножения, мкм	Э	36,7 ± 1,45** 27,7–56,3	49,9 ± 1,12** 42,6–53,0	52,9 ± 0,69** 50,6–57,0	55,9 ± 1,4** 50,6–63,0	73,9 ± 1,34** 70,6–88,0
	К	67,0 ± 1,58 61,7–76,4	67,7 ± 1,79 61,6–78,2	67,0 ± 1,58 61,7–76,4	66,4 ± 1,44 62,0–75,4	65,4 ± 1,87 61,0–78,4
Площадь лимфоидного узелка без центра размножения на срезе, мм ² × 10 ⁻⁴	Э	37,0 ± 0,80** 27,4–43,1	38,5 ± 2,12** 7,2–50,1	38,9 ± 2,45** 30,0–53,4	42,3 ± 2,18** 35,3–56,2	55,0 ± 0,88** 45,9–54,1
	К	54,2 ± 0,90 48,0–56,3	54,2 ± 0,90 48,0–56,3	55,0 ± 1,01 47,0–56,4	54,8 ± 1,10 47,2–57,4	55,3 ± 1,30 45,9–58,1

Примечание. ЛУ – лимфоидные узелки; Э – эксперимент; К – контроль; * – в % к общему количеству узелков; ** – статистически значимые отличия от контрольной группы соответствующего срока ($p < 0,05$).

Таблица 2

Размерные показатели структур брыжеечных лимфатических узлов на их поперечном срезе у мышей в разные сроки реабилитационного периода после последовательных радиационного и химического воздействий (X ± Sx; min–max; мкм)

Параметр	Группа наблюдений	Значение показателя на начало реабилитационного периода	Срок реабилитационного периода, сут			
			4-е сутки	28-е сутки	60-е сутки	90-е сутки
Толщина капсулы, мкм	Э	18,7 ± 0,21* 17,0–21,5	18,7 ± 0,23* 17,0–21,5	18,7 ± 0,23* 17,0–21,5	17,7 ± 0,43 16,0–20,5	15,7 ± 0,81 11,0–18,5
	К	15,6 ± 0,65 13,2–18,4	15,6 ± 0,54 13,2–17,4	15,6 ± 0,54 13,2–18,4	15,6 ± 0,43 13,2–17,4	15,6 ± 0,88 10,2–18,4
Толщина трабекулы, мкм	Э	6,6 ± 0,11* 5,2–7,3	6,6 ± 0,11* 5,0–7,1	6,0 ± 0,11* 4,7–6,5	5,6 ± 0,11* 4,2–6,3	3,6 ± 0,11 2,2–5,3
	К	3,9 ± 0,32 2,1–5,6	3,9 ± 0,39 2,1–5,8	3,9 ± 0,35 2,0–5,6	3,9 ± 0,36 2,2–5,6	3,9 ± 0,35 2,1–5,4
Диаметр лимфатического синуса, мкм	Э	5,7 ± 0,13* 4,1–6,6	5,7 ± 0,27* 4,1–6,6	5,7 ± 0,27* 4,1–6,6	5,7 ± 0,27* 4,1–6,6	3,6 ± 0,27 4,1–6,6
	К	3,4 ± 0,54 1,5–5,5	3,4 ± 0,54 1,5–5,5	3,4 ± 0,54 1,5–5,5	3,4 ± 0,54 1,5–5,5	3,4 ± 0,54 1,5–5,5
Толщина мякотного тяжа, мкм	Э	14,3 ± 0,18* 13,2–16,7	17,3 ± 0,65* 13,6–19,7	17,3 ± 0,74* 13,8–20,7	19,0 ± 0,18 13,2–22,7	21,3 ± 0,18 13,2–26,7
	К	22,0 ± 0,65 18,5–24,6	22,2 ± 0,65 18,0–24,1	22,1 ± 0,65 18,5–24,6	22,1 ± 0,65 18,5–24,6	22,0 ± 0,65 19,5–25,6

Примечание. Э – эксперимент; К – контроль; здесь и в табл. 3: * – статистически значимые отличия от контрольной группы соответствующего срока (p < 0,05).

Таблица 3

Количество клеток лимфоидного ряда в различных компонентах брыжеечных лимфатических узлов на их поперечном срезе у мышей в разные сроки после реабилитационного периода после последовательных радиационного и химического воздействий (X ± Sx; min–max; на площади среза 880 мкм²)

Группа наблюдений	Значение показателя на начало реабилитационного периода	Срок реабилитационного периода, сут			
		4-е сутки	28-е сутки	60-е сутки	90-е сутки
Диффузная лимфоидная ткань (корковое вещество)					
Эксперимент	16,0 ± 0,56* 9–20	19,2 ± 0,76* 15–22	24,2 ± 0,86* 19–27	24,7 ± 0,86* 19–27	31,6 ± 0,65 28–34
Контроль	31,0 ± 0,76 27–34	31,3 ± 0,76 27–34	31,6 ± 0,76 27–34	31,2 ± 0,76 27–34	31,0 ± 0,76 27–34
Лимфоидные узелки без центра размножения					
Эксперимент	22,2 ± 0,51* 15–25	24,3 ± 0,97* 18–27	28,4 ± 0,97* 23–32	28,9 ± 0,76* 25–32	35,0 ± 0,97 29–38
Контроль	35,6 ± 0,86 31–39	35,8 ± 0,86 31–39	36,6 ± 0,86 31–39	35,9 ± 0,76 30–37	35,7 ± 0,86 30–38
Центр размножения лимфоидных узелков					
Эксперимент	16,0 ± 0,35* 14–21	17,2 ± 0,76* 14–22	18,3 ± 0,76* 16–23	18,9 ± 0,97* 16–25	24,7 ± 0,76 22–29
Контроль	25,7 ± 0,65 23–29	25,7 ± 0,65 23–29	25,7 ± 0,65 23–29	25,7 ± 0,65 23–29	25,7 ± 0,65 23–29
Мякотные тяжи					
Эксперимент	25,2 ± 0,46* 23–32	26,5 ± 0,86* 22–30	27,9 ± 0,65* 24–30	28,4 ± 0,86* 24–32	36,0 ± 0,97 30–39
Контроль	36,4 ± 0,65 33–39	36,8 ± 0,65 32–37	36,2 ± 0,65 32–38	35,4 ± 0,65 33–39	36,7 ± 0,65 33–39

воздействиях [3, 12]. Выявлено увеличение толщины капсулы лимфатических узлов, их трабекул, расширение лимфатических синусов, сужение мякотных тяжей (табл. 2).

Непосредственно после эксперимента наблюдается выраженное по сравнению с контролем снижение абсолютного количества клеток лимфоидного ряда (табл. 3), относительного (процентного) содержания лимфоцитов, лимфобластов, клеток с картиной митоза, увеличение дегенеративных клеток, появление эозинофилов, исчезновение типичных межклеточных ассоциаций (макрофаг и плазмочит в окружении лимфоцитов). Все это сочеталось с уменьшением массы экспериментальных животных (в 1,33 раза по сравнению с контролем, $p < 0,05$).

На протяжении реабилитационного периода вплоть до 90-х суток наблюдений все количественные показатели структуры брыжеечных лимфатических узлов были существенно ниже контрольных значений (табл. 1–3). Так, даже на 60-е сутки реабилитационного периода отмечали уменьшение относительно контроля количества лимфоидных узелков на срезе брыжеечного лимфатического узла в 1,56 раза ($p < 0,05$), длины лимфоидного узелка – в 1,34 раза ($p < 0,05$), его ширина – в 1,16 раза ($p < 0,05$), площади лимфоидного узелка – в 1,15 раза ($p < 0,05$), процентного количества лимфоидных узелков с центром размножения – в 1,39 раза ($p < 0,05$), длины центра размножения – в 1,35 раза ($p < 0,05$), его ширины – в 1,41 раза ($p < 0,05$) и площади центра размножения на срезе – в 1,56 раза ($p < 0,05$) (см. табл. 1). Полученные данные согласуются с выводами других исследователей о деструктивных изменениях в структуре лимфатических узлов, подвергнутых определенной дозе радиоактивного излучения [13].

Имело место увеличение относительно контроля толщины капсулы лимфатического узла на 60-е сутки реабилитационного периода в 1,13 раза ($p > 0,05$), толщины трабекулы – в 1,44 раза ($p < 0,05$), диаметра лимфатического синуса – в 1,61 раза ($p < 0,05$), толщины мякотного тяжа – в 1,16 раза ($p > 0,05$) (см. табл. 2).

Выявили уменьшение относительно контрольных показателей абсолютного количества клеток лимфоидного ряда (их число на площади среза 880 мкм²) в диффузной лимфоидной ткани в 1,26 раза ($p < 0,05$), в составе лимфоидных узелков без центра размножения – в 1,24 раза ($p < 0,05$), в центрах размножения лимфоидных узелков – в 1,36 раза ($p < 0,05$), в мякотных тяжах брыжеечных лимфатических узлов – в 1,25 раза ($p < 0,05$) (см. табл. 3). Клеточный состав лимфоидной ткани восстанавливался лишь на 90-е сутки реабилитационного периода, когда процентное содержание лимфоцитов, лимфобластов, макрофагов,

плазмочитов, клеток в состоянии дегенерации соответствовала контролю.

Выводы

1. После длительного (63 сут) радиационно-химического воздействия имело место выраженное по сравнению с контролем снижение абсолютного количества клеток лимфоидного ряда, процентного содержания лимфоцитов, лимфобластов, клеток с картиной митоза, увеличение дегенеративных клеток, появление эозинофилов, исчезновение типичных межклеточных ассоциаций.

2. Окончательное восстановление большинства структурных характеристик брыжеечных лимфатических узлов и достоверное соответствие их показателям контроля наблюдали лишь на 90-е сутки после окончания сочетанного действия радиационного и химического воздействия.

Список литературы

1. Чава С.В. Исследование лимфоидных структур слизистой оболочки гортани крыс в условиях воздействия на организм паров ацетальдегида различной концентрации (экспериментально-морфологическое исследование): Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 1998.

Chava S.V. Investigation of lymphoid structures of the larynx of the rats under conditions of exposure to acetaldehyde vapors of various concentrations (experimental-morphological research): Avtoreferat dissertatsii ... kandidata meditsinskikh nauk. Moscow, 1998.

2. Сапин М.Р., Никитюк Д.Б. Иммунная система, стресс и иммунодефицит. М., 2000.

Sapin M.R., Nikityuk D.B. Immune system, stress and immunodeficiency. Moscow, 2000.

3. Абрамова М.В., Магомедова П.Г. Состояние клеточной популяции брыжеечных лимфатических узлов мыши в остром периоде эксперимента после воздействия на них излучения ¹³⁷Cs // Морфология. 2012. Т. 137. С. 7–8.

Abramova M.V., Magomedova P.G. The state of cellular population of murine mesenteric lymph nodes in acute period after experimental ¹³⁷Cs irradiation // Morfologiya. 2012. V. 137. P. 7–8.

4. Краюшкина Н.Г., Александрова Л.И., Загребин В.Л. и др. Изменения морфометрических параметров брыжеечных лимфатических узлов лабораторных животных при воздействии переменного электромагнитного поля промышленной частоты // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2013. № 3 (47). С. 81–84.

Krayushkina N.G., Aleksandrova L.I., Zagrebin V.L. et al. Morphometric parameters changes of mesenteric lymph nodes in laboratory animals exposed to electromagnetic field of industrial frequency // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta. 2013. № 3 (47). P. 81–84.

5. Никитюк Д.Б., Клочкова С.В., Алексеева Н.Т., Кварацхелия А.Г. Современные представления об общих закономерностях макро-микроскопической анатомии лимфоидных органов // Журнал анатомии и гистопатологии. 2015. Т. 4. № 2. С. 9–13.

Nikityuk D.B., Klochkova S.V., Alekseeva N.T., Kvaratskheliya A.G. Modern ideas about the general patterns of macro-microscopic anatomy of lymphoid organs // Zhurnal anatomii i gistopatologii. 2015. V. 4. № 2. P. 9–13.

6. Буравкова Л.Б., Григорьева О.В., Рыкова М.П. Межклеточное взаимодействие иммунных клеток и клеток-мишеней in vitro в условиях микрогравитации (МКС-7 – МКС-12) // Сб. матер. XIII конф. по космической биологии и авиакосмической медицине. М., 2006. С. 84–86.

Buravkova L.B., Grigorieva O.V., Rykova M.P. Intercellular interaction of immune cells and target cells in vitro under microgravity conditions (MKS-7 – MKS-12) // Materials of the XIII conference on space biology and aerospace medicine. Moscow, 2006. P. 84–86.

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

Mukhamedieva L.N. Regularities of formation and hygienic regulation of multicomponent contamination of the air environment of manned orbital stations: Avtoreferat dissertatsii ... doktora meditsinskikh nauk. Moscow, 2003.

8. Шафиркин А.В., Мухамедиева Л.Н., Татаркин С.В., Баранцева М.Ю. Установление риска отдаленных неблагоприятных эффектов хронического комбинированного воздействия радиационного и химического факторов с целью обеспечения безопасности орбитальных и межпланетных космических полетов // Авиакосм. и экол. мед. 2012. Т. 46. № 1. С. 23–29.

Shafirkin A.V., Mukhamedieva L.N., Tatarkin S.V., Barantseva M.Yu. Establishment of the risk of long-term adverse effects of chronic combined effects of radiation and chemical factors with a view to ensuring the safety of orbital and interplanetary space flights // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2012. V. 46. № 1. P. 23–29.

9. Татаркин С.В., Шафиркин А.В., Мухамедиева Л.Н. и др. Характеристика адаптационных процессов у мышей при хроническом комбинированном воздействии радиации и химических веществ (ацетона, этанола, ацетальдегида), характерном для межпланетных полетов // Там же. № 3. С. 20–27.

Tatarkin S.V., Shafirkin A.V., Mukhamedieva L.N. et al. The characteristics of adaptation processes in mice with chronic combined effects of radiation and chemicals (acetone, ethanol, acetaldehyde), typical for interplanetary flights // Ibid. № 3. P. 20–27.

10. Татаркин С.В. Гемопоз и метаболический статус эритроцитов мышечной ткани при длительном комбинированном воздействии ионизирующей радиации и химических веществ, моделирующих условия межпланетных полетов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2013.

Tatarkin S.V. Hematopoiesis and metabolic status of erythrocytes of mice under long-term combined effects of ionizing radiation and chemicals simulating the conditions of interplanetary flights: Avtoreferat dissertatsii ... kandidata biologicheskikh nauk. Moscow, 2013.

11. 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 risks for astronauts during the expedition to Mars on the basis of real engineering developments of the Martian spacecraft // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2010. V. 44. № 1. P. 5–14.

12. Майбородин И.В., Стрункин Д.Н., Майбородина В.И. и др. Изменения групповых лимфоидных узлов и брыжеечных лимфатических узлов крыс после введения комплекса химиотерапевтических препаратов: сходство и различия реакции // Морфология. 2007. Т. 132. № 5. С. 68–73.

Mayborodin I.V., Strunkin D.N., Mayborodina V.I. et al. Changes in the aggregated lymphoid nodules and in the mesenteric lymph nodes after the administration of a chemotherapeutic drug complex: response similarities and differences // Morfologiya. 2007. V. 132. № 5. P. 68–73.

13. Абрамова М.В., Сингх Р.Б., Козлов В.И., Шастун С.А. и др. Изменение структуры функциональных зон и цитоархитектоники лимфатических узлов белых мышей, облученных изотопом ¹³⁷Cs // Электронный научно-образовательный вестник «Здоровье и образование в XXI веке». 2014. Т. 16. № 10. С. 1–4.

Abramova M.V., Singh R.B., Kozlov V.I. et al. Changing patterns of functional regions and cytoarchitectonic lymph nodes of white mice irradiated by isotope ¹³⁷Cs // Electronic scientific and educational bulletin «Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke». 2014. V. 16. № 10. P. 1–4.

Поступила 29.03.2017

MORPHOLOGIC CHANGES IN MESENTERIC LYMPH NODES OF MICE IN THE PERIOD OF REHABILITATION AFTER COMPLETION OF PROLONGED COMBINED RADIATION AND CHEMICAL EXPOSURE

**Kvaratskheliya A.G., Klochkova S.V.,
Alekseeva N.T., Tutelian V.A., Nikitiuk D.B.,
Mukhamedieva L.N.**

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).
2017. V. 51. № 5. P. 63–69

Structural properties of mesenteric lymph nodes from male mice F1 (CBA x C57/BL6, initial age 30–35 days and mass 20–23 g) were examined in different periods of 63-d radiation exposure and 90-d post-exposure. Animals were exposed to γ -radiation on ^{137}Cs source GOBO-60. Dose rate amounted to 25 cGy/h. Mice received 350 cGHy total

from fractionated irradiation by 50 cGy per a week over 10 weeks. During subsequent 70 days the mice were subjected to chemical effects of acetone, acetaldehyde and ethanol vapors according to the experimental procedure adopted at IBMP. Purpose was to examine morphology of mesenteric lymph nodes over the period of 3-m mice recovery from the prolonged combined radiation and chemical exposure. Longitudinal histologic sections of 5–7 μm in thickness were stained by hematoxylin-esosin according to Van Gieson. On exposure completion it was found that size of mesenteric lymph nodes was decreased and so were length, width and areas of lymphoid nodes; capsules and trabecules of lymph nodes grew in thickness, lymph sinuses expanded and Billroth's strands narrowed. Cell composition of the lymphoid tissue recovered only by day 90, when percentages of lymphocytes, lymphoblasts, macrophagocytes, plasmocytes and degenerating cells were similar to controls.

Key words: mesenteric lymph nodes, space flight factors, irradiation, chemical exposure.

МЕТОДИКИ

УДК 616.093

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИТОЦЕНТРИФУГИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ МИКРОБНЫХ МАЗКОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ МИКРОБНЫХ КЛЕТОК

Соловьева З.О., Скедина М.А., Ильин В.К.

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

E-mail: soloviova@imbp.ru

Определяющим фактором при проведении лабораторно-диагностического исследования микробной суспензии является качество пробоподготовки препаратов. Важнейшими критериями качества микробного препарата являются монослойность и однородность распределения материала по предметному стеклу. Целью исследования являлся подбор оптимального объема микробной суспензии и режима центрифугирования для получения равномерных монослойных цитоцентрифугатов (ЦЦФ). В эксперименте использовали центрифугу DiffSpin 2 (model 701-22, StatSpin, USA), предназначенную для приготовления мазков периферической крови.

Проведен анализ 7 режимов работы, рекомендованных разработчиками центрифуги. Полученные ЦЦФ фиксировали и окрашивали стандартными методами. Оценку полученных ЦЦФ проводили по внешнему виду путем микроскопии с иммерсией (объектив 100x) и на приборе, используя автоматический скрининг микробного мазка. Качество ЦЦФ при микроскопии оценивали по монослойности и однородности распределения материала по предметному стеклу. В результате был выбран режим № 6 (объем пробы 100 мкл), наиболее удовлетворяющий требованиям, определяющим качество мазка для автоматизированного анализа. Как следует из полученных результатов, микробная проба заполняла одинаково равномерно тонким слоем определенную поверхность ЦЦФ.

Полученные ЦЦФ при использовании выбранного режима и объема пробы являются стандартизированными монослойными мазками микробной суспензии, что может быть использовано для автоматизированного анализа изображений микробных клеток.

Ключевые слова: цитоцентрифуга, цитоцентрифугаты, микробная суспензия, микробный мазок, автоматизированный анализ изображений микробных клеток.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 5. С. 70–72.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-5-70-72

При применении автоматизированного анализа объектом исследования является стандартизированный микробный мазок, полученный с помощью

цитоцентрифуги DiffSpin 2 Slide Spinner (model M 701-22, StatSpin, USA) и окрашенный по Граму.

В предыдущих работах были подробно рассмотрены: автоматизированная система цифровой микроскопии распознавания микробных клеток, автоматическое устройство фиксации мазка и программируемый автомат окраски. В этой работе представлена методика получения стандартизированных микробных мазков из микробиологических проб различных биотопов человека с использованием цитоцентрифуги DiffSpin 2 Slide Spinner. Применение данной методики позволяет анализировать микробный мазок с использованием автоматизированной системы цифровой микроскопии и освобождает медицинский персонал от ручного приготовления мазка.

Автоматизированный компьютерный анализ изображений микробных объектов предназначен для получения оперативной информации о микрофлоре человека. В его основе лежит световая микроскопия микробных мазков с иммерсией. Правильное выделение и распознавание исследуемых микроорганизмов на фоне невозможно в автоматическом режиме при неточной фокусировке, которая значительно усложняется, если клетки находятся на разных уровнях и/или распределены по мазку крайне неравномерно. Соответственно для автоматизированного анализа пригодны только мазки, на которые исследуемый материал нанесен равномерно в виде монослоя [1].

При традиционном ручном приготовлении микробных мазков [2] исследуемый материал наносится на предметное стекло неравномерно, бактериальные клетки распределяются случайным образом и монослойность нанесения проконтролировать не представляется возможным. Стандартизация процесса нанесения клинического материала на предметное стекло с использованием специальной цитоцентрифуги позволит получить микробные мазки необходимого для автоматизированного анализа качества.

При автоматизированном анализе объектом исследования является стандартизированный микробный мазок, полученный с помощью цитоцентрифуги DiffSpin 2 Slide Spinner и окрашенный по Граму с применением автоматических устройств [3].

Целью исследования являлся подбор оптимального объема микробной суспензии и режима центрифугирования для получения равномерных монослойных цитоцентрифугатов (ЦЦФ).

Методика

Для приготовления ЦЦФ использовалась микробная суспензия тест-культуры *Staphylococcus aureus*. Микробная нагрузка в исходном материале, подготовленном для исследования, составляла 108 колониобразующих единиц на 1 мл микробной взвеси (КОЕ/мл). Величина микробной нагрузки определялась культуральным методом [4]. Рассматривались 2 варианта приготовления суспензии: с применением физиологического раствора и фосфатного буферного раствора по 2 мл каждого. Микробная суспензия, приготовленная с физиологическим раствором, не адсорбировалась на обезжиренных предметных стеклах SL72, в отличие от микробной суспензии, приготовленной на фосфатном буферном растворе, который обеспечивал суспензии необходимую вязкость. Поэтому для приготовления микробной суспензии экспериментально был выбран фосфатный буферный раствор (pH = 6,8).

Оптимальный объем микробной суспензии и режим времени вращения центрифуги подбирался, используя рекомендации разработчиков центрифуги (рис. 1).

В процессе подбора использовались режимы № 5 и 6 и объемы проб 50, 75, 100 и 150 мкл. Для каждого объема нанесение материала осуществлялось двукратно на чистые стекла.

Приготовление препаратов проходило следующим образом. Тонкое обезжиренное предметное стекло с адсорбционным покрытием SL72 помещалось в пластиковый держатель и вставлялось в крепления на роторе цитоцентрифуги (рис. 2). Объем суспензии исследуемого материала наносился на стекло через предусмотренные для этих целей 2 отверстия в держателе с помощью микропипетки по капле в каждое отверстие.

На управляющей панели цитоцентрифуги (см. рис. 1) задавался режим вращения. Далее запускался выбранный режим и материал равномерно распределялся по стеклу под действием центробежной силы. Длительность манипуляции с одним препаратом составляла примерно 1 мин. ЦЦФ фиксировались и окрашивались стандартными методами.

Полученные препараты оценивались по внешнему виду, при этом учитывалась площадь полученного мазка. Путем микроскопии в масляной иммерсии



Рис. 1. Центрифуга DiffSpin 2 (model M 701-22, StatSpin, USA).

1 – управляющая панель; 2 – ротор с держателем

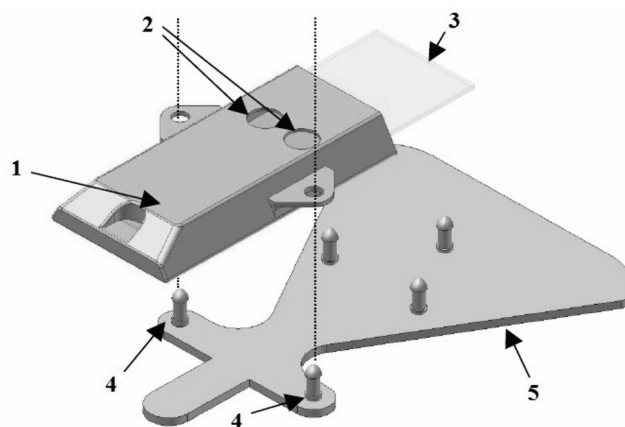


Рис. 2. Держатель со стеклом и ротор центрифуги.

1 – держатель; 2 – отверстия для нанесения исследуемого материала; 3 – предметное стекло; 4 – крепления ротора; 5 – ротор

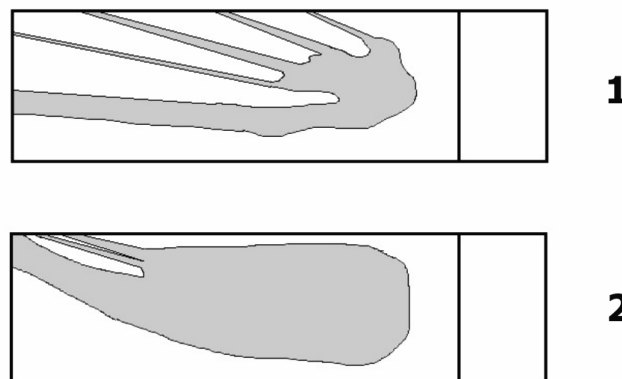


Рис. 3. Внешний вид цитоцентрифугатов (ЦЦФ).

№ 1 – ЦЦФ, приготовленные из проб микробной суспензии объемом 50 и 75 мкл; № 2 – ЦЦФ, приготовленные из проб микробной суспензии объемом 100 и 150 мкл

(объектив 100х) определялась монослойность ЦЦФ и равномерность распределения материала на всей площади мазка.

Результаты и обсуждение

ЦЦФ из проб суспензии объемом 50 и 75 мкл при внешнем осмотре выглядели на предметном стекле в виде линейного распределения косыми штрихами от капель в сторону наружных краев, материал распределялся неравномерно, образуя много клиньев пустоты (рис. 3, № 1). При объеме крови 100 и 150 мкл ЦЦФ имели одинаковый внешний вид, распределение было однородное на достаточной для анализа площади, равномерное и одинаково тонкое по всей заполненной площади (см. рис. 3, № 2).

Микроскопия препаратов, приготовленных из 100 и 150 мкл при режиме центрифугирования № 5 и 6 в масляной иммерсии показала, что исследуемый материал достаточно равномерно заполнял площадь, микробные клетки встречались в полях зрения разных заполненных участков примерно в одном и том же количестве. При микроскопии ЦЦФ 100 мкл при обоих режимах между полями зрения значительных различий в плотности объектов не наблюдалось. Микроскопия препаратов, приготовленных из 150 мкл, показала, что материал распределен равномерно, но его избыточное количество создавало эффект периодического скопления клеток в поле зрения и не давало монослоя.

Автоматизированный анализ ЦЦФ, приготовленных из 100 мкл микробной суспензии, проводился с использованием режимов № 5 и 6. Монослойность ЦЦФ оценивалась по фокусировке микроскопа на мазке в автоматическом режиме, которая показала лучшие результаты при работе с мазком, приготовленным из 100 мкл микробной суспензии при режиме работы центрифуги № 6 (2,5 с при постоянной скорости вращения 3000 об/с).

Выводы

1. По итогам анализа характеристик ЦЦФ, полученных при работе с разными объемами проб и режимами работы центрифуги, наиболее удовлетворяющий требованиям автоматизированного анализа был выбран режим работы центрифуги № 6 при объеме пробы в 100 мкл.

2. Применение данной методики позволяет анализировать микробный мазок с использованием автоматизированной системы цифровой микроскопии.

Работа выполнена в рамках ОКР заказ 534 СЧ ОКР «База-М»-Совершенствование-ИМБП.

Список литературы

1. Ильин В.К., Соловьева З.О., Скедина М.А. и др. Разработка системы автоматизированного анализа микробиологических объектов // *Авиакосм. и экол. мед.* 2006. Т. 40. № 5. С. 57–59.

Ilyin V.K., Solovieva Z.O., Skedina M.A. et al. Development of a system for automated analysis of microbiological objects // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2006. V. 40. № 5. P. 57–59.

2. Лабинская А.С. Микробиология с техникой микробиологических исследований. М., 1978.

Labinskaya A.S. Microbiology with the technique of microbiological research. Moscow, 1978.

3. Соловьева З.О., Скедина М.А., Ильин В.К. Анализ бактериальных препаратов, приготовленных с использованием автоматических устройств термической фиксации и окраски // *Авиакосм. и экол. мед.* 2012. Т. 46. № 4. С. 45–47.

Solovieva Z.O., Skedina M.A., Ilyin V.K. Analysis of bacterial preparations prepared using automatic devices for thermal fixation and coloration // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2012. V. 46. № 4. P. 45–47.

4. Приказ МЗ № 535 «Об унификации микробиологических (бактериологических) методов исследования, применяемых в клинико-диагностических лабораториях лечебно-профилактических учреждений» от 22.04.1985 г.

The order № 535 of the Ministry of Public Health «On the unification of microbiological (bacteriological) research methods used in clinical diagnostic laboratories of medical and preventive institutions» issued 22.04.1985.

Поступила 25.07.2017

USE OF CYTOCENTRIFUGE TO PREPARE MICROBIAL SMEARS FOR AUTOMATED ANALYSIS OF MICROBIAL CELL IMAGES

Solovieva Z.O., Skedina M.A., Ilyin V.K.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 5. P. 70–72

Quality of microbial suspension is a determining factor for successful laboratory diagnostics. The quality criterion is a monolayer and uniform suspension distribution on the slide. Our goal was to choose an optimal volume of microbial suspension and centrifugation protocol that would produce uniform monolayers of cytocentrifugates (UMCs). The experiment was performed in centrifuge DiffSpin 2 (model 701-22, StatSpin, USA) designed for preparation of peripheral blood samples.

We tested 7 protocols recommended by the centrifuge manufacturer. Standard procedures were applied to fixate and

stain UMFs for assessment of their appearance under immersion microscope (objective 100x), and automatic screening. Based on the results, microbial smears fill a certain UMFs surface in an identically uniform thin layer. Quality of UMFs was analyzed by microscopy. The choice fell on protocol 6 (100 µl sample) as it provides the most suitable smears for automated analysis.

UMFs produced with the chosen protocol and sample volume are standard monolayer smears of microbial suspension acceptable for automated cell image analysis.

Key words: cytocentrifuge, cytocentrifugates, microbial suspension, microbial smear, automated microbial cell image analysis.

Редколлегия журнала сердечно поздравляет
с юбилейными датами сотрудников ИМБП:

Аветисянц Борис Львович

Горгиладзе Гиви Ильич

Гущин Вадим Игоревич

Доброквашина Елена Ивановна

Котовская Адиля Равгатовна

Маркин Андрей Аркадьевич

Мачинский Георгий Владимирович

Сальникова Татьяна Вадимовна

Смирнов Олег Алексеевич

Тихонова Гелена Александровна

Филимонова Вера Анатольевна

Добрые вам пожелания и плодотворной работы!