

АВИАКОСМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

AVIAKOSMICHESKAYA I EKOLOGICHESKAYA MEDITSINA

НАУЧНЫЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC PERIODIC JOURNAL

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ушаков И.Б., д.м.н., профессор, академик РАН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ардашев В.Н., д.м.н., профессор
Баранов В.М., д.м.н., профессор, академик РАН
Буравкова Л.Б., д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН
Бухтияров И.В., д.м.н., профессор
Виноградова О.Л., д.м.н., профессор
Давыдов Б.И., д.м.н., профессор
Иванов И.В., д.м.н., профессор
Ильин Е.А., д.м.н., профессор – заместитель главного редактора
Котов О.В., к.м.н.
Меденков А.А., к.психол.н., д.м.н., профессор
Носков В.Б., д.м.н.
Орлов О.И., д.м.н., член-корреспондент РАН
Синяк Ю.Е., к.х.н., д.т.н., профессор
Сорокин О.Г., к.м.н.
Усов В.М., д.м.н., профессор
Хоменко М.Н., д.м.н., профессор
Шипов А.А., д.б.н. – ответственный секретарь
Родионова Н.В., д.б.н., профессор (Украина)
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)

2015 Т. 49 № 4

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 1967 ГОДУ

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

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

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

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

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

© Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, 2015
© State Research Center RF – Institute of Biomedical Problems Russian Academy of Sciences, 2015

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

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

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

Адрес: 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76а, метро «Полежаевская»,
Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН
(редакция) тел.: 8 (499) 195-68-74, факс: 8 (499) 195-22-53, эл. почта: library@imbp.ru
(отв. секретарь) тел.: 8 (499) 195-20-93, эл. почта: shipov3838@mail.ru

Сдано в набор 05.08.2015.
Подписано в печать 17.08.2015.
Формат 60 × 84 1/8.
Гарнитура Таhоmа.
Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,2.
Тираж 250 экз.
Заказ № 251.

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

Содержание

Contents

Экспериментальные и общетеоретические исследования

Experimental and Theoretical Investigations

Лапа В.В., Иванов А.И., Давыдов В.В., Рябинин В.А., Голосов С.Ю. Экспериментальная оценка восприятия оператором символической информации на экране наשלемного дисплея в зависимости от сложности структуры визуальной обстановки

5 *Lapa V.V., Ivanov A.I., Davydov V.V., Ryabinin V.A., Golosov S.Yu.* Experimental testing of the operator's perception of symbolic information on the helmet-mounted display depending on the structural complexity of visual environment

Булкбаева Л.Э., Демченко Г.А., Ильин Е.А., Ерофеева Л.М. Структурно-функциональное состояние лимфоидной ткани лимфатических узлов мышей после 30-суточного космического полета на борту космического аппарата «Бион-М1»

9 *Bulekbaeva L.E., Demchenko G.A., Ilyin E.A., Erofeeva L.M.* Structural-functional status of the lymph tissue of mice lymphatic nodes following the 30-day flight onboard spacecraft Bion-M1

Пастушкова Л.Х., Кононихин А.С., Тийс Е.С., Носовский А.М., Доброхотов И.В., Иванисенко В.А., Николаев Е.Н., Новоселова Н.М., Кусто М.-А. (Custaud M.-A.), Ларина И.М. Изменения белкового профиля мочи в условиях «сухой» иммерсии

15 *Pastushkova L.Kh., Kononikhin A.S., Tiys E.S., Nosovsky A.M., DobrokhotoV I.V., Ivanisenko V.A., Nikolaev E.N., Novoselova N.M., Custaud M.-A., Larina I.M.* Shifts in urine protein profile during dry immersion

Григоренко Д.Е., Аминова Г.Г., Ерофеева Л.М., Шенкман Б.С., Ильин Е.А. Перестройка лимфоидной ткани в селезенке и стенке тощей кишки мышей при наземном моделировании условий содержания животных в полете биоспутника «Бион-М1»

20 *Grigorenko D.E., Aminova G.G., Erofeeva L.M., Shenkman B.S., Ilyin E.A.* Rearrangement of the lymph tissue in the mice spleen and jejunum wall during the ground-based reproduction of the conditions of animal maintenance in the biosatellite Bion-M1 mission

Иванов А.А., Булынина Т.М., Молоканов А.Г., Ворожцова С.В., Утина Д.М., Северюхин Ю.С., Ушаков И.Б. Демонстрация возможности негативного эффекта физической защиты при тотальном облучении мышей протонами

26 *Ivanov A.A., Bulynina T.M., Molokanov A.G., Vorozhtsova S.V., Utina D.M., Severyukhin Yu.S., Ushakov I.B.* Demonstration of likelihood of the negative effect of physical protection during total proton irradiation of mice

Карташов Д.А., Шуршаков В.А. Расчет радиационных нагрузок в антропоморфном фантоме на борту космической станции при использовании дополнительной защиты

31 *Kartashov D.A., Shurshakov V.A.* Calculation of radiation loads on the anthropomorphic phantom onboard the space station in the case of additional shielding

Климарев С.И., Синяк Ю.Е. Исследование комбинированного воздействия СВЧ-энергии и серебра на воду в потоке для ее обеззараживания

38 *Klimarev S.I., Siniak Yu.E.* Investigation of the combined disinfectant effect of ultra-high frequency energy and silver on water in flow

Клинические исследования

Clinical Investigations

Мызников И.Л., Бурцев Н.Н., Бондаренко Н.В., Хамидуллина А.Я. Заболеваемость моряков из состава экипажей подводной лодки в длительных морских походах **42**

Myznikov I.L., Burtsev N.N., Bondarenko N.V., Khamidullina A.Ya. Morbidity of submarine crew sailors in long-distance cruises

Стерликова И.В. К вопросу о реакции организма человека на изменение геомагнитной обстановки **47**

Sterlikova I.V. On human body reaction to a changed geomagnetic background

Дискуссии

Discussions

Богомолов В.В., Кузьмин М.П., Даниличев С.Н. К вопросу о внутричерепной гипертензии у астронавтов в условиях длительной невесомости **54**

Bogomolov V.V., Kuzmin M.P., Danilichev S.N. On the intracranial hypertension in astronauts during long-term microgravity

Хроника и информация

Chronicles and Information

Ильин Е.А. Семнадцатое совещание российско-американской совместной рабочей группы по исследованиям в области космической биомедицины и биологии **59**

Ilyin E.A. Seventeenth meeting of the US/Russian Joint Working Group on the Space Biomedical and Biological Sciences Research

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 629.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОСПРИЯТИЯ ОПЕРАТОРОМ СИМВОЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ЭКРАНЕ НАШЛЕМНОГО ДИСПЛЕЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СЛОЖНОСТИ СТРУКТУРЫ ВИЗУАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ

Лапа В.В.¹, Иванов А.И.², Давыдов В.В.¹, Рябинин В.А.³, Голосов С.Ю.^{1,4}

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

²Научно-исследовательский институт медицины труда РАМН, Москва

³Московский вертолетный завод им. М.Л. Миля, пос. Томилино, Московская область

⁴ГБОУ ВПО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России», Москва

E-mail: seregavmola@mail.ru

В экспериментах установлено, что восприятие оператором символьной информации на экране авиационной нашлемной системы индикации (НСИ) зависит от ее типа (моно- или бинокулярная) и условий зрительной деятельности, отличающихся степенью сложности структуры фона (визуальной обстановки). Усложнение структуры фона приводит к увеличению времени и ошибкам восприятия, особенно при использовании монокулярной НСИ (по сравнению с бинокулярной). В наиболее сложных условиях зрительной деятельности (предъявление символьной информации на сложноструктурированном фоне, полученном совмещением телевизионного изображения на НСИ с визуализацией внешней обстановки) существенно увеличивается время и снижается точность восприятия символов при использовании обоих вариантов НСИ.

Ключевые слова: нашлемный дисплей, факторы полета, частотные характеристики, качество восприятия, кодирование информации.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2015. Т. 49. № 4. С. 5–8.

Одним из направлений развития авиационных систем отображения информации является использование устройств, размещаемых на шлеме летчика [1]. Нашлемная система индикации (НСИ) позволяет летчику более полно использовать естественные обзорные возможности благодаря совмещению оптическим путем в поле зрения инструментальной полетной информации с визуальной внешней обстановкой, независимо от направления линии визирования. На восприятие информации при использовании НСИ в значительной степени влияет схема ее оптического устройства (с 1 оптическим каналом – монокулярная или с 2 – бинокулярная). При использовании монокулярной НСИ в случае существенных различий (как по семантическому содержанию, так и по пространственно-энергетическим характеристикам) информации, воспринимаемой правым и

левым глазом, может возникнуть феномен бинокулярной борьбы полей зрения [2, 3]. В данных условиях зрительная система разрешает конфликтную ситуацию за счет подавления одного из изображений или его частей, что сопровождается потерей релевантной визуальной информации.

На восприятие информации летчиком при использовании НСИ могут также оказать влияние сами условия зрительной деятельности в полете, которые зависят от структуры фона (неструктурированный, слабоструктурированный или сложноструктурированный), на котором предъявляется информация. Вместе с тем психофизиологические особенности и показатели зрительного восприятия при совмещении в поле зрения НСИ знаково-символьной информации и фонового изображения различной сложности изучены недостаточно, что затрудняет решение практических задач по рациональному совмещению формируемых на экране НСИ изображений.

Целью исследования являлась экспериментальная оценка времени и точности восприятия символьной информации оператором на экране монокулярной и бинокулярной НСИ в различных условиях зрительной деятельности, отличающихся сложностью структуры визуальной обстановки.

Методика

Исследование проведено на полунатурном моделирующем комплексе (ПМК) одноместного самолета, оборудованном системой визуализации внешней обстановки.

В экспериментах использовался макетный образец бинокулярной НСИ. Для моделирования монокулярных условий восприятия левый канал системы отключался и предъявление информации осуществлялось только на правый глаз. Оператор, находясь в кабине ПМК, надевал защитный шлем

с нашлемной системой, подгонял его регулировки таким образом, чтобы выходные зрочки оптических каналов совпадали со зрачками глаз.

Моделировались следующие условия зрительной деятельности:

1. Объект (кольцо с разрывом, который ориентирован в одном из 4 направлений – вверх, вниз, вправо или влево) предъявляется на НСИ – на экране внешней визуализации – белая однородная поверхность.

2. Объект предъявляется на НСИ – на экране визуализации внешней обстановки предъявляется изображение с периодической текстурой (штрихами).

3. Объект предъявляется на НСИ – на экране визуализации предъявляется изображение местности.

4. Объект предъявляется на НСИ на фоне телевизионного изображения местности – на экране визуализации предъявляется изображение местности.

Процедура эксперимента состояла в следующем. В поле зрения оператора с помощью электронного тахистоскопа предъявлялся объект (кольцо с разрывом). Задача оператора состояла в максимально быстром и точном определении направления разрыва в кольце. Предъявление объекта запускалось самим оператором нажатием на кнопку «предъявление». Определив направление разрыва в кольце, он нажатием на кнопку «опознание» прекращал предъявление и называл направление разрыва. Ответ фиксировался в протоколе эксперимента. При работе с каждым типом НСИ реализовывалось по 20 предъявлений объекта-кольца, направление разрыва которого варьировало в случайном порядке.

Регистрировались следующие показатели:

– время восприятия символа (длительность периода времени от нажатия на кнопку «предъявление» до нажатия на кнопку «опознание», с);

– ошибки, допущенные при определении направления разрыва в кольце.

Оценивались M и σ времени восприятия символа и относительное количество ошибок (в %).

После эксперимента операторы заполняли анкету-опросник, в которой в качестве экспертов оценивали (по 5-балльной шкале) качество восприятия, а также отмечали характер затруднений при восприятии в зависимости от условий зрительной деятельности и типа (моно- или бинокулярная) используемой НСИ. В экспериментах приняли участие 6 операторов.

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены показатели зрительного восприятия символической информации при использовании монокулярной и бинокулярной НСИ в зависимости от условий зрительной деятельности.

В условиях (1), которые характеризуются проекцией изображения НСИ на белую однородную поверхность, достоверных различий по времени восприятия при использовании монокулярной и бинокулярной НСИ не выявлено. Ошибок восприятия в этих условиях не зафиксировано. Данные условия зрительной деятельности являются наиболее простыми и в реальных условиях встречаются при наблюдении объектов на фоне неба. Более близкими к восприятию информации на фоне земной поверхности являются условия (2) и (3), при которых изображение НСИ (кольцо) проецируется на структурированную поверхность, что усложняет задачу зрительного восприятия информации. Усложнение задачи закономерно приводит к увеличению времени восприятия, более выраженному при использовании монокулярной НСИ (по сравнению с бинокулярной).

В условиях (2), когда тест-объект предъявлялся на фоне однородного структурированного изображения, время восприятия возросло на 81 % (при использовании монокулярной НСИ) и на 27 % (при использовании бинокулярной НСИ). Эта закономерность сохранилась и для условий (3) – при предъявлении объекта на фоне визуального изображения местности: среднее время восприятия тест-объекта при использовании монокулярной НСИ было на 42 % большим (в сравнении с бинокулярной). Усложнение условий зрительной деятельности приводило не только к увеличению времени восприятия изображения на экране монокулярной НСИ, но и сказывалось на точности восприятия. В простых условиях (проекция символа на белую однородную поверхность) ошибки восприятия отсутствовали при использовании обоих типов НСИ. При усложнении условий зрительной деятельности (позиции 2 и 3 табл. 1) отмечено появление ошибок только в случае использования монокулярной НСИ. Их количество достигало 3–7 % от общего числа предъявлений тест-объекта.

Более выраженное ухудшение показателей восприятия символической информации при работе с монокулярной НСИ (по сравнению с бинокулярной) является, по-видимому, следствием следующих психофизиологических феноменов [2–4]:

– нарушения функционального единства зрительной системы вследствие разобщения сенсорных каналов правого и левого глаза (прежде всего – борьбы полей зрения);

– нарушения адекватности содружественной зрачковой реакции и снижения устойчивости зрительного анализатора к внешним световым воздействиям.

Это предположение подтверждается субъективными отчетами испытуемых, которые отметили «размытость» отдельных участков воспринимаемого информационного поля, ощущение несогласованности изображения в правом и левом глазу,

Таблица 1

Показатели восприятия символьной информации при использовании монокулярной и бинокулярной НСИ в различных условиях зрительной деятельности

Условия зрительной деятельности	Монокулярная НСИ		Бинокулярная НСИ	
	Т, с (M ± σ)	Ошибки, %	Т, с (M ± σ)	Ошибки, %
1. Объект предъявляется на НСИ – внешняя обстановка – белая однородная поверхность	0,70 ± 0,03	0	0,71 ± 0,02	0
2. Объект предъявляется на НСИ – на экране внешней обстановки предъявляется изображение с периодической текстурой (штрихами)	1,27 ± 0,10	7	0,90 ± 0,04*	0
3. Объект предъявляется на НСИ – на экране внешней обстановки предъявляется изображение местности	1,32 ± 0,11	3	0,93 ± 0,05*	0
4. Объект предъявляется на НСИ совместно с телевизионным изображением местности – на экране внешней обстановки предъявляется изображение местности	1,98 ± 0,21	27	2,26 ± 0,53	32

Примечание. * – различия между моно- и бинокулярной НСИ достоверны (p < 0,05).

Таблица 2

Оценка операторами качества восприятия информации в зависимости от используемого типа НСИ

Тип НСИ	Средняя оценка, балл	Диапазон оценок, балл
Монокулярная	3,0	2,0–4,0
Бинокулярная	4,2	3,5–5,0

а в наиболее сложных условиях зрительной деятельности – относительно высокую вероятность подавления восприятия символьной информации (изображения кольца). Указанные проявления зрительного дискомфорта при использовании монокулярной НСИ объясняют более высокую оценку операторами бинокулярного варианта (табл. 2).

Представленные выше результаты характеризуют особенности зрительной деятельности оператора применительно к задачам восприятия инструментальной информации, отображаемой отдельными символами, знаками и т.п., которые занимают ограниченную площадь в поле зрения оператора. Однако существует класс задач, при которых выводимое на НСИ изображение практически полностью заполняет поле зрения оператора. К этому классу задач следует отнести работу оператора с телевизионными, тепловизионными, радиолокационными изображениями, выводимыми на экран НСИ. Данная ситуация моделировалась в условиях (4), когда на экране НСИ предъявлялось тестовое кольцо на фоне сложноструктурированного (телевизионного) изображения местности, которые, в свою очередь, проецировались на визуализацию внекабинной обстановки. В таких условиях

существенно увеличились время и количество ошибок восприятия символьной информации при использовании обоих типов НСИ (см. табл. 1).

Выводы

1. Время и точность восприятия символьной информации на экране НСИ зависят от типа ее оптической системы (моно- или бинокулярная) и условий зрительной деятельности, отличающихся степенью сложности структуры фона (визуальной обстановки).

2. Повышение сложности структуры фона закономерно приводит к увеличению времени и ошибкам восприятия символьной информации, особенно при использовании монокулярного типа НСИ (по сравнению с бинокулярной).

3. В наиболее сложных условиях зрительной деятельности (предъявление символьной информации на сложноструктурированном фоне, полученном совмещением телевизионного изображения на НСИ с визуализацией внешней обстановки) существенно увеличивается время и снижается точность восприятия символов при использовании обоих вариантов НСИ.

Список литературы

1. Боровицкий Д. Системы отображения полетной информации: информационно-управляющее поле кабины летательных аппаратов // Зарубежное военное обозрение. 2005. № 2. С. 42–48.

Borovitskiy D. Display system of flight information: aircraft cockpit information-control field // *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*. 2005. № 2. P. 42–48.

2. Меркулов И.И. Учение о зрачке // Вопр. нейроофтальмологии. 1973. Т. 8. С. 5–86.

Merkulov I.I. The doctrine of the pupil // *Voprosy neurooftalmologii*. 1973. V. 8. P. 5–86.

3. Blake R. A theory of binocular rivalry // *Psychol. rev.* 1989. V. 96. № 1. P. 146–167.

4. Patterson R. Binocular rivalry and head-worn displays // *Human Factors*. 2007. V. 49. P. 1083–1096.

Поступила 19.02.2015

EXPERIMENTAL TESTING OF THE OPERATOR'S PERCEPTION OF SYMBOLIC INFORMATION ON THE HELMET-MOUNTED DISPLAY DEPENDING ON THE STRUCTURAL COMPLEXITY OF VISUAL ENVIRONMENT

Lapa V.V., Ivanov A.I., Davydov V.V., Ryabinin V.A., Golosov S.Yu.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2015. V. 49. № 4. P. 5–8

The experiments showed that pilot's perception of symbolic information on the helmet-mounted display (HMD) depends on type of HMD (mono- or binocular), and structural complexity of the background image. Complex background extends time and increases errors in perception, particularly when monocular HMD is used. In extremely complicated visual situations (symbolic information on a background intricately structured by supposition of a TV image on real visual environment) significantly increases time and lowers precision of symbols perception no matter what the HMD type.

Key words: helmet-mounted display, flight factors, frequency characteristics, perception quality, information coding.

УДК 613.693+611.428:599.323.4+611.08

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИМФОИДНОЙ ТКАНИ ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ МЫШЕЙ ПОСЛЕ 30-СУТОЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «БИОН-М1»

Булекбаева Л.Э.¹, Демченко Г.А.¹, Ильин Е.А.², Ерофеева Л.М.³

¹Институт физиологии человека и животных Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, Алматы

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

³Научно-исследовательский институт морфологии человека, Москва

E-mail: ilyine@imbpr.ru

В статье приведены результаты исследования лимфоидной ткани брыжеечных и шейных лимфатических узлов мышей линии C57BL/6N после 30-суточного орбитального полета на борту биоспутника «Бион-М1». Гистологические и морфометрические исследования выявили изменения в соотношении структурно-функциональных зон и микроструктуры узлов. Уменьшилось число ретикулярных клеток, плазмочитов, макрофагов и бластов в узлах, что свидетельствует о снижении как гуморального, так и клеточного иммунитета.

Ключевые слова: космический полет, невесомость, лимфатические узлы.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2015. Т. 49. № 4. С. 9–14.

В процессе эволюции жизнь развивалась в условиях постоянного гравитационного поля. В космическом полете (КП) человек и другие живые особи испытывают влияние перегрузок в момент взлета и спуска с орбиты, невесомости, гипокинезии, изоляции, измененной газовой среды и условий питания. У человека описаны такие изменения, как угнетение иммунитета, потеря массы тела, ионов кальция, перемещение крови в область головы, отеки в тканях лица и шеи и пр. [1–3].

Ранее было показано участие лимфатической системы собак, крыс и обезьян в адаптивных реакциях организма при наземном моделировании некоторых эффектов невесомости [4–6].

Лимфатические узлы относятся к кроветворным органам, где происходит образование лимфоцитов, поступающих в кровь. Зонами пролиферации В-лимфоцитов являются светлые центры фолликулов коркового вещества, а Т-лимфоцитов – паракортикальная зона или внутренняя часть коркового вещества узла. Постоянная продукция лимфоцитов является главной функцией лимфоидной ткани [7].

Согласно данным анатомо-гистологических исследований, в брыжеечных лимфатических узлах человека обнаружено самое большое количество плазматических клеток, бластов и больших лимфоцитов,

что обеспечивает по сравнению с соматическими шейными и подмышечными узлами их активную роль в иммунных реакциях организма. Соматические узлы в этих процессах имеют существенно меньшее значение [8]. Известно, что лимфатические узлы имеют видовые, половые и возрастные различия. У женщин лимфатические узлы крупнее, чем у мужчин. В процессе старения организма в строме узлов увеличивается содержание соединительной ткани и числа малых лимфоцитов, в то время как число средних лимфоцитов снижается [9].

Однако роль лимфатических узлов в иммунных реакциях организма при действии невесомости в длительных КП изучена недостаточно. В этой связи целью данной работы явилось изучение состояния структурно-функциональных зон и лимфоидной ткани брыжеечных и шейных лимфатических узлов мышей после 30-суточного КП на борту космического аппарата (КА) «Бион-М1».

Исследование влияния факторов КП на лимфатические узлы представляет не только научный, но и практический интерес в связи с данными о снижении иммунитета у космонавтов после КП [3]. Первые систематические исследования лимфатических узлов и иммунокомпетентных органов в целом начались по программе полетов биоспутников «Бион» в 70-е годы прошлого века [10]. У крыс после этих полетов изучали паховые лимфатические узлы, шейные лимфатические узлы, тимус, селезенку, лимфоциты периферической крови. Совокупность полученных данных свидетельствует о влиянии факторов КП на клеточные основы иммунной реактивности организма. Недостаточный объем, а в ряде случаев и противоречивость полученных результатов создают необходимость продолжения иммунобиологических исследований в КП.

Методика

Исследования проводили на половозрелых мышцах-самцах линии C57BL/6N (возраст – 19–20 нед,

масса тела $29,3 \pm 2,1$ г), прошедших ветеринарный контроль и предполетную подготовку. Мыши на борту КА находились в клетках (по 3 особи в каждой), которые были снабжены системами подачи пастообразного корма, вентиляции, освещения и удаления отходов жизнедеятельности.

Полетный эксперимент с мышами и послеполетные исследования были одобрены Комиссией по биомедицинской этике (ГНЦ РФ – ИМБП РАН, протокол № 319 от 04.04.2013 г.).

Через 11 ч после приземления КА «Бион-М1» мыши были доставлены в ИМБП РАН, где после их эвтаназии был получен биоматериал от 5 мышей (70 брыжеечных и шейных лимфатических узлов).

Изучение биоматериала осуществляли в соответствии с требованиями по проведению гистологического исследования лимфоузлов, измененных каким-либо процессом. Изъятые лимфатические узлы мышей фиксировали в 10 %-ном растворе нейтрального формалина. Далее следовала классическая схема проводки и заливки материала в парафин с последующим приготовлением гистологических срезов толщиной 4–5 мкм. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином, азуром и эозином.

Морфометрический гистологический анализ осуществляли с помощью светового микроскопа Leica-DM-1000 и морфометрической сетки [11], которую накладывали на срез лимфоузла. Подсчитывали пересечения сетки, приходящиеся на весь срез лимфоузла в целом и отдельно, на каждую его структуру – капсулу, корковое плато (диффузную лимфоидную ткань), лимфоидные узелки, паракортикальную зону, мякотные тяжи и синусы, с пересчетом в проценты [11]. Определяли корково-мозговой индекс (индекс К/М). При цитоанализе структуры лимфатических узлов подсчитывали число клеток на стандартной площади 1600 мкм^2 с их дифференцировкой на бласты, средние и малые лимфоциты, плазмочиты, макрофаги и др. Для некоторых структурно-функциональных зон использованы референтные значения для клеток.

Контрольная группа (2-я группа) из 8 мышей-самцов линии C57BL/6N (возраст – 19–20 нед, масса тела – $27,4 \pm 2,4$ г) находилась в виварии ИМБП РАН в обычных клетках на стандартном режиме кормления и со свободным доступом к воде.

Полученные данные подвергали статистической обработке с определением средней арифметической (M), ошибки средней арифметической ($\pm m$) и достоверности различий при $p < 0,05$ с использованием программы статистического анализа StatPlus Pro 2009, AnalystSoft Inc.

Результаты и обсуждение

У мышей группы виварного контроля брыжеечные лимфатические узлы покрыты тонкой плотной

капсулой. Подкапсульный (краевой) синус хорошо выражен, плотно заполнен клетками. Имеется четкая корково-мозговая граница в узлах, индекс К/М составляет 1,23. В корковом веществе расположены лимфоидные узелки, среди которых больше лимфоидных узелков без герминативного центра.

У мышей, которые были 30 сут в полете на борту биоспутника, выявлены изменения структурно-функциональных зон лимфатических узлов (табл. 1). Отмечено уменьшение площадей коркового плато (в 3,4 раза), лимфоидных узелков без герминативного центра (в 2 раза), субкапсулярного синуса (в 5,2 раза) и увеличение паракортикальной зоны (в 1,37 раза) и мозгового синуса (в 1,55 раза). Изменение каждой из структурно-функциональных зон лимфатического узла отражает иммунный статус при определенном составе клеточных элементов. Размеры и количество лимфоидных узелков варьируют. Наблюдалось уменьшение площади лимфоидных узелков без герминативного центра при сохранении площади узелков с герминативным центром в пределах контрольного значения. Индекс К/М уменьшался и стал ниже единицы (см. табл. 1).

Клетки паренхимы лимфатического узла оказались чувствительными к действию невесомости (табл. 2). У мышей полетной группы в паракортикальной зоне брыжеечного узла наблюдалось уменьшение числа плазмочитов в 2,69 раза, бластов – в 1,69 раза, макрофагов – в 1,5 раза, средних лимфоцитов – в 1,53 раза на единицу площади по сравнению с контролем. В мякотных тяжах уменьшалась численность плазмочитов в 3,2 раза, ретикулярных клеток – в 1,8 раза при увеличении числа средних лимфоцитов – в 1,7–3 раза. В мозговом синусе отмечено увеличение лимфоцитов (в 1,92 раза), макрофагов (в 2,44 раза) и уменьшение числа плазмочитов (в 1,92 раза). Вероятно, в условиях КП нарушается процесс трансформации В-лимфоцитов в плазмобласты и созревания плазматических клеток, способных синтезировать иммуноглобулины (см. табл. 2). Одновременное увеличение числа средних лимфоцитов в мякотных тяжах лимфатических узлов свидетельствует о миграционной активности клеток внутри узла. Характер изменений основных структурно-функциональных зон брыжеечных узлов свидетельствует об их минимизации за счет уплотнения, что сопровождается уменьшением общей площади узла. Изменения клеточного состава структурно-функциональных зон брыжеечных лимфатических узлов свидетельствуют о снижении иммунного потенциала, как гуморального, так и клеточного.

При исследовании 9 мышей из группы виварного контроля было установлено, что структура 30 шейных лимфатических узлов у них состояла из коркового и мозгового веществ с сохранением основных структурно-функциональных зон. Индекс

Таблица 1

Характеристика структурно-функциональных зон брыжеечных лимфатических узлов

Структуры брыжеечного лимфатического узла	Виварный контроль	Космический полет
	Площадь зоны	
Капсула	1,05 ± 0,08	1,13 ± 0,08
Субкапсулярный синус	0,63 ± 0,04	0,12 ± 0,04*
Корковое плато	1,02 ± 0,04	0,30 ± 0,04*
Лимфоидный узелок без герминативного центра	1,19 ± 0,04	0,59 ± 0,13*
Лимфоидный узелок с герминативным центром	0,70 ± 0,04	0,66 ± 0,17
Паракортикальная зона	3,85 ± 0,04	5,27 ± 0,42*
Мякотные тяжи	4,06 ± 0,04	3,87 ± 0,08
Мозговой синус	2,81 ± 0,17	4,35 ± 0,25*
Общая площадь	31 ± 0,25	16,29 ± 0,30
Индекс К/М	1,23 ± 0,01	0,98 ± 0,02

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: * – достоверно по сравнению с контролем при $p_{1-2} < 0,05$.

Таблица 2

Цитологическая картина структурно-функциональных зон брыжеечного лимфатического узла

Клетки	Виварный контроль, количество клеток	Космический полет, количество клеток
Мозговые тяжи		
Плазмобласты	3,60 ± 0,12	3,67 ± 0,53
Зрелые плазмоциты	3,81 ± 0,12	1,24 ± 0,11*
Малые лимфоциты	4,60 ± 0,24	7,83 ± 0,89*
Средние лимфоциты	3,0 ± 0,12	10,0 ± 0,89*
Макрофаги	5,0 ± 0,13	6,0 ± 0,35
Ретикулярные клетки	1,23 ± 0,11	0,67 ± 0,18
Эозинофильные гранулоциты	0,67 ± 0,09	1,33 ± 0,18
Паракортикальная зона		
Бласты	4,50 ± 0,18	2,67 ± 0,18*
Средние лимфоциты	6,0 ± 0,35	9,17 ± 0,71*
Малые лимфоциты	8,5 ± 1,60	8,5 ± 0,71
Ретикулярные клетки	1,50 ± 0,18	1,33 ± 0,18
Плазмоциты	2,1 ± 0,11	0,78 ± 0,09*
Макрофаги	5,50 ± 0,18	3,67 ± 0,23*
Эозинофильные гранулоциты	0,49 ± 0,18	1,31 ± 0,18
Мозговой синус		
Малые лимфоциты	6,0 ± 0,27	11,5 ± 1,42*
Макрофаги	3,0 ± 0,13	7,33 ± 0,53*
Ретикулярные клетки	1,80 ± 0,12	0,33 ± 0,08
Плазмоциты	3,80 ± 0,30	1,98 ± 0,11
Эозинофильные гранулоциты	0,40 ± 0,06	0,17 ± 0,02

К/М составлял 1,28. В группе мышей после КП в шейных узлах отмечали расширение коркового плато за счет уменьшения площади, занимаемой лимфоидными узелками. Площадь лимфоидных узелков с герминативным центром была уменьшена в 1,85 раза, паракортикальной зоны – в 1,29 раза, мякотных тяжей – в 1,51 раза, мозгового синуса в – 1,74 раза. Индекс К/М возрос до 1,61.

В шейных лимфатических узлах мышей после КП изменялась цитоархитектоника коркового плато и мозговых тяжей. В лимфоидных узелках коркового слоя отмечали уменьшение числа макрофагов в 1,87 раза на фоне тенденции увеличения числа лимфоцитов. В мякотных тяжах узла возрастало число лимфоцитов в 1,2 раза, число макрофагов – в 1,33 раза, ретикулярных клеток – в 1,33 раза, но уменьшалось число плазматических клеток в 2,87 раза, хотя бласты присутствуют в пределах контрольных величин. В паракортикальной зоне увеличивалось число бластов в 1,67 раза, но уменьшалось число средних лимфоцитов в 1,55 раза, число ретикулярных клеток – в 2,2 раза, плазмоцитов – в 3,39 раза. В мозговом синусе происходило увеличение количества макрофагов в 1,3 раза, число ретикулярных клеток возрастало в 1,6 раза (табл. 3). Одновременный рост числа средних лимфоцитов в мякотных тяжах лимфатических узлов указывал на увеличение миграции клеток в пределах узла. Подобная миграция лейкоцитов внутри узла свойственна для обычной защитной функции всех лимфатических узлов. Характер изменения основных структурно-функциональных зон свидетельствовал о значительном сокращении общей площади шейного лимфатического узла при его уплотнении. Невесомость и другие негативные факторы КП оказали угнетающее действие на лимфоидную ткань шейных лимфатических узлов. Отмечено снижение как гуморального, так и клеточного иммунного потенциала. Под влиянием условий длительного КП имело место торможение дифференцировки и пролиферации лимфоидных клеток, что отражается на их миграции и заселении структурно-функциональных зон лимфатического узла.

Как видно из полученных данных, после 30-суточного КП у мышей были обнаружены различия в реагировании структурно-функциональных зон лимфатических узлов разной локализации, приводящие к уплотнению структуры узлов (шейный – соматический, брыжеечный узел – висцеральный). Так, в брыжеечном лимфатическом узле имело место увеличение площади мозгового синуса на 54 %, что свидетельствовало об активации транспортной функции узлов, уменьшении площади лимфоидных узелков и паракортикальной зоны, т.е. уменьшении площади структур, ответственных за иммунные функции. В шейных лимфатических узлах мышей после 30-суточного КП отмечали увеличение только

площади коркового плато и уменьшение площадей всех остальных зон узла. Число иммунокомпетентных клеток и в брыжеечных, и в шейных лимфатических узлах уменьшилось, что привело к снижению гуморального и клеточного иммунитета.

Сходные гистологические изменения были обнаружены в паховых лимфатических узлах крыс после более коротких полетов на борту биоспутников «Бион» [12]. При исследовании лимфоцитов селезенки крыс не было получено данных, которые бы однозначно свидетельствовали о том, что КП продолжительностью до 3 нед может привести к снижению клеточно-опосредованного иммунитета [13]. Наоборот, на 2-е сутки после окончания полета биоспутника «Бион-3» у крыс выявили повышение активности В- и Т-лимфоцитов в селезенке по отношению к специфическому антигену и поливалентным митогенам [14, 15]. Наиболее детальные исследования иммунной системы были проведены на мышах C57BL/6N после 15-суточного КП на шаттле STS-131 Discovery, которые позволили выявить снижение в 8–9 раз экспрессии интерлейкинов, интерферона и других маркеров активности Т-лимфоцитов мышей, что, по мнению авторов проведенных исследований, свидетельствует о физиологической зависимости состояния иммунитета от гравитации [16]. Результаты наших исследований на мышах также свидетельствуют в пользу такого заключения. Однако нельзя исключить, что определенное влияние на состояние иммунитета могли оказать такие условия содержания мышей в полетной аппаратуре «БИОС-МЛЖ», как постоянный шум, гипокинезия, изоляция, питание пастообразным кормом.

Выводы

1. После 30-суточного КП на борту биоспутника «Бион-М1» у мышей в брыжеечных и шейных лимфатических узлах были отмечены реактивные явления в виде изменений соотношения структурно-функциональных зон узлов и уменьшения индекса К/М.

2. В брыжеечных лимфатических узлах мышей полетной группы выявлено увеличение площадей мозгового синуса и паракортикальной зоны, площади остальных зон уменьшались, а в шейном лимфатическом узле отмечали увеличение площади коркового плато на фоне уменьшения площадей остальных зон узла.

3. В лимфатических узлах мышей полетной группы наблюдали снижение пролиферативной активности клеток и существенное изменение микроструктуры лимфоидной ткани узлов. Уменьшение числа плазмоцитов, бластов, макрофагов и ретикулярных клеток в лимфатических узлах свидетельствовало о снижении гуморального и клеточного иммунитета.

**Цитологическая картина структурно-функциональных зон шейного лимфатического узла
у мышей после космического полета и у контрольной группы**

Клетки	Виварный контроль, количество клеток	Космический полет, количество клеток
Мозговые тяжи		
Плазмобласты	2,33 ± 0,19	2,0 ± 0,35
Зрелые плазмоциты	2,67 ± 0,23	0,93 ± 0,11
Малые лимфоциты	5,83 ± 0,21	7,0 ± 0,35*
Средние лимфоциты	8,67 ± 0,23	10,5 ± 0,18*
Макрофаги	4,50 ± 0,12	6,0 ± 0,35*
Ретикулярные клетки	1,50 ± 0,19	2,0 ± 0,35
Эозинофильные гранулоциты	0,33 ± 0,07	1,33 ± 0,18*
Паракортикальная зона		
Бласты	3,0 ± 0,16	5,0 ± 0,35*
Средние лимфоциты	13,17 ± 0,29	8,5 ± 0,18*
Малые лимфоциты	7,83 ± 0,21	7,0 ± 0,35
Ретикулярные клетки	1,01 ± 0,12	0,5 ± 0,18
Плазмоциты	6,33 ± 0,17	1,87 ± 0,18*
Макрофаги	0,17 ± 0,03	0,47 ± 0,15
Эозинофильные гранулоциты	-	0,24 ± 0,18
Мозговой синус		
Малые лимфоциты	8,67 ± 0,26	7,0 ± 0,35
Макрофаги	3,83 ± 0,19	5,0 ± 1,24*
Ретикулярные клетки	1,67 ± 0,13	2,67 ± 0,18*
Плазмоциты	0,33 ± 0,14	-
Эозинофильные гранулоциты	0,33 ± 0,07	0,47 ± 0,35

Список литературы

1. Григорьев А.И., Гуровский Н.Н., Егоров А.Д. Основные механизмы невесомости // Космическая биология и медицина. М., 1987. С. 49–59.

Grigoriev A.I., Gurovskiy N.N., Egorov A.D. Basis mechanisms of weightlessness // Space biology and medicine. Moscow, 1987. P. 49–59.

2. Газенко О.Г., Григорьев А.И., Егоров А.Д. Космическая медицина вчера, сегодня, завтра // Наука в России. 2006. № 3. С. 5–11.

3. Gazenko O.G., Grigoriev A.I., Egorov A.D. Space medicine yesterday, today and tomorrow // Nauka v Rossii. 2006. № 3. P. 5–11.

3. Моруков Б.В., Берендеева Т.А., Рыкова М.П. и др. Система цитокинов у космонавтов после завершения космических полетов разной продолжительности // Авиакосм. и экол. мед. 2013. Т. 47. № 4. С. 101.

Morukov B.V., Berendeeva T.A., Rykova M.P. et al. The system of cytokines in astronauts after the completion of space flights of different duration // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2013. V. 47. № 4. P. 101.

4. Булекбаева Л.Э., Демченко Г.А., Вовк Е.В. Взаимоотношения лимфатического и венозного давления

при кратковременном антиортостазе // Физиол. журн. СССР им. И.М. Сеченова. 1992. № 9. С. 58–62.

Bulekbaeva L.E., Demchenko G.A., Vovk E.V. Relations of lymphatic and venous pressure under short-term antiorthostatic posture // Fiziologicheskij zhurnal SSSR imeni I.M. Sechenova. 1992. № 9. P. 58–62.

5. Булекбаева Л.Э., Макашев Е.К., Демченко Г.А., Абдрешов С.Н. Транспортная функция лимфатических узлов при антиортостатическом воздействии // Росс. физиол. журнал им. И.М. Сеченова. 2007. Т. 93. № 1. С. 39–45.

Bulekbaeva L.E., Makashev E.K., Demchenko G.A., Abdreshov S.N. Transport function of lymph nodes in body antiorthostatic posture // Rossiyskiy fiziologicheskij zhurnal imeni I.M. Sechenova. 2007. V. 93. № 2. P. 39–45.

6. Ерофеева Л.М., Корольков В.И., Гордеев Ю.В., Сапин М.П. Паховые лимфатические узлы обезьян в условиях 8-суточного погружения в воду // Морфология. СПб., 2005. Т. 127. № 3. С. 45–47.

Erofeeva L.M., Korol'kov V.I., Gordeev Yu.V., Sapin M.P. Inguinal lymph nodes of monkeys in the conditions of 8-day immersion in water // Morfologiya. St. Petersburg, 2005. V. 127. № 3. P. 45–47.

7. Галактионов В.Г. Иммунология. М., 2004.
Galaktionov V.G. Immunology. Moscow, 2004.

8. Трясучев П.М. Регионарные особенности конструкции и инволютивные изменения подмышечных, шейных, подвздошных и брыжеечных лимфатических узлов взрослого человека // Архив анатомии. 1983. Т. 84. № 4. С. 36–44.

Tryasuchev P.M. Regional design features and involutive changes in axillary, cervical, iliac and mesenteric lymph nodes of an adult human // Archive of anatomy. 1983. V. 84. № 4. P. 36–44.

9. Sapin M.R. The age and sex peculiarities in structure of man's lymphatic nodes // Abstr. of VIth International congress of lymphology. Prague, 1977. V. 2. P. 41.

10. Ильин Е.А. Программа «Бион»: от прошлого к будущему // Авиакосм. и экол. мед. 2008. Т. 42. № 6. С. 57–67.

Ilyin E.A. The «Bion» program: from past to future // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2008. V. 42. № 6. P. 57–67.

11. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия. М., 1990.

Avtandilov G.G. Medical morphometry. Moscow, 1990.

12. Kraft L.M. Results of hystological examination of inguinal lymph nodes: supplementary report // Final Report of US Experiment Flown on the Soviet Satellite Cosmos 782 / S.N. Rosenzweig, K.A. Souza, eds. NASA TM 78525. 1978. P. 227–231.

13. Мендель А.Д., Бейлиш Е. Действие космического полета на клеточно-опосредованный иммунитет // Влияние динамических факторов космического полета на организм животных. М., 1979. С. 193–196.

Mendel A.D., Beiligh E. The effects of space flight factors upon cells-mediated immunity // The effect of space flight dynamic factors on animals' organism. 1979. Moscow, P. 193–196.

14. Константинова И.В., Мартинес М.Т., Сакаян Н.Н., Журавель Г.М. Реактивность В-лимфоцитов селезенки по отношению к поликлональному митогену // Там же. С. 196–199.

Konstantinova I.V., Martines M.T., Sakayan N.N., Zhuravel G.M. Reactivity of spleen B-lymphocytes towards to polyclonal mitogen // Ibid. P. 196–199.

15. Konstantinova T.V., Fuchs B.B., Taylor G.R. et al. Results of immunological experiment aboard the Cosmos biosatellites and problems in space immunology // Physiologist. Suppl. 1992. V. 35. № 1. P. S220–S221.

16. Hughes-Fulford M., Spurlock S., Chang T.T., Candelario T.T. Loss of mouse T-cell immune response in astromice flown on STS-131 // 18th IAA Humans in Space Symposium (2011). N2051.pdf.

Поступила 25.12.2014

STRUCTURAL-FUNCTIONAL STATUS OF THE LYMPH TISSUE OF MICE LYMPHATIC NODES FOLLOWING THE 30-DAY FLIGHT ONBOARD SPACECRAFT BION-M1

Bulekbaeva L.E., Demchenko G.A., Ilyin E.A., Erofeeva L.M.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2015. V. 49. № 4. P. 9–14

The article reports the results of studying the lymph tissue of mesenteric and cervical lymphatic nodes in C57BL/6N mice after the 30-day orbital flight onboard biosatellite Bion-M1. Histological and morphometric investigations revealed changes in the ratio of the nodes structural-functional zones and microstructure. Reductions in reticular cells, plasmocytes, macrophages and blasts in the nodes point to degradation of both humoral and cellular immunity.

Key words: space flight, microgravity, lymphatic nodes.

УДК 613.693+001.891:577.2.04:612.46

ИЗМЕНЕНИЯ БЕЛКОВОГО ПРОФИЛЯ МОЧИ В УСЛОВИЯХ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ

Пастушкова Л.Х.¹, Кононихин А.С.^{1,2}, Тийс Е.С.⁴, Носовский А.М.¹, Доброхотов И.В.¹, Иванисенко В.А.⁴, Николаев Е.Н.^{2,3}, Новоселова Н.М.⁵, Кусто М.-А. (Custaud M.-A.)⁵, Ларина И.М.¹

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

²«Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН», Москва

³Институт энергетических проблем химической физики РАН, Москва

⁴Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск

⁵Университет Анже, Франция

E-mail: pastushkova@imbp.ru

Исследование было направлено на выявление динамики протеомного профиля мочи 8 здоровых добровольцев, при воздействии 5-суточной «сухой» иммерсии (СИ). Состав протеома определялся с помощью хромато-масс-спектрометрического анализа на базе нанопотоочного высокоэффективного жидкостного хроматографа (Agilent 1100), а также масс-спектрометра MaXis Impact 4G и гибридного масс-спектрометра LTQ-FT для получения комплементарной информации по спектрам белков. Для анализа функциональных ассоциаций между белками и биологическими функциями использовалась компьютерная система ANDCell (Associative Networks Discovery in Cells).

Удалось идентифицировать 256 белков, из которых для 43 белков различия в частоте обнаружения между фоном и 4-и сутками эксперимента превышали 20 %.

Ключевые слова: протеомика, протеомный профиль мочи, белки, «сухая» иммерсия, масс-спектрометрия.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2015. Т. 49. № 4. С. 15–19.

«Сухая» иммерсия (СИ) была предложена в качестве модели физиологических эффектов невесомости в начале 1970-х годов. Во время СИ тело испытуемого погружено в воду в горизонтальном положении до уровня подмышечных впадин при термонеutralной температуре, изолированно от воды водонепроницаемой пленкой. Сравнительные исследования динамики и выраженности развития гипогравитационных изменений в иммерсии и космическом полете (КП) равной длительности показали, что степень развивающихся нарушений в двигательной системе в иммерсии была равной, а порой и более выраженной, чем в КП [1], как и в системе водно-электролитного обмена [2]. Таким образом, в качестве наземной модели эффектов микрогравитации иммерсия является достаточно адекватной моделью.

Адаптационная перестройка при действии микрогравитации проявляется в изменениях качественного и количественного составов белков жидкостей

организма. Исследование протеома крови и мочи, конденсата выдыхаемого воздуха представляет огромный объем информации, относящейся к феноменологии и механизмам приспособительных реакций.

Последнее десятилетие развиваются многопараметрические подходы для получения новых знаний о физиологических и патологических реакциях организма на различные типы воздействия.

В настоящее время протеомными методами в моче обнаруживаются более 3 тыс. белков, имеющих различное происхождение: одни из них фильтруются из плазмы крови, другие имеют почечное происхождение или секретируются клетками эпителия мочевого тракта [3], что открывает значительные возможности для поиска биомаркеров различных заболеваний и новой информации о физиологическом ответе организма на различные воздействия.

Методика

С целью изучения адаптационных механизмов было проведено обследование 8 здоровых добровольцев-мужчин в возрасте от 21 до 29 лет в эксперименте с 5-суточной СИ согласно стандартному протоколу [1]. Обследуемые не подвергались никаким дополнительным воздействиям, направленным на профилактику развивающихся сдвигов.

Для исследования протеома использовалась 2-я фракция мочи, срединная ее часть, полученная за 3 сут до начала эксперимента (фон), на 4-е и 5-е сутки СИ и на 1-е и 8-е сутки после окончания воздействия.

После получения пробы мочи образец центрифугировали 10 мин при 4 °С, 2000 g с целью удаления загрязнений и отбирали надосадочную фракцию, которую замораживали при температуре -80 °С для длительного хранения. В дальнейшем образцы

размораживали при комнатной температуре и центрифугировали 10 мин при 4 °С, 2000 g. Последующая пробоподготовка осуществлялась согласно стандартному протоколу, описанному ранее [4].

Хроматомасс-спектрометрический анализ проводился на базе нанопотоочного высокоэффективного жидкостного хроматографа (нано-ВЭЖХ) Agilent 1100 (Agilent Technologies Inc., Санта-Клара, США). Для градиентной хроматографии использовали колонку, изготовленную в лаборатории проф. Е.Н. Николаева с использованием капилляра-эмиттера (Pico-tip, New Objective Inc., США) способом, описанным в работе [5]. Масс-спектры были сняты на масс-спектрометре MaXis Impact 4G и гибридном масс-спектрометре LTQ-FT для получения информации по спектрам белков.

Масс-спектры продуктов хроматографии находились в диапазоне от 300 до 1600 Th m/z. Каждый образец мочи был проанализирован трижды, и для последующего анализа отобраны лишь те белки, которые были обнаружены в 2 или 3 повторах. Биоинформатический подход к анализу лабораторных результатов состоял в том, что список из полученных масс белков и их фрагментов использовался для поиска и идентификации белков по базе данных IPI-human (международный индекс белка) при помощи программы Mascot (Matrix Science, версия 2.0.04, Великобритания) по следующим критериям: 1 – enzyme-trypsin; 2 – peptide tol. ± 5 ppm; 3 – MS/MS tol. 0.5Da. В списке белков, полученном в результате Mascot-поиска, достоверными считались только те белки, для которых были идентифицированы хотя бы 2 пептида с рейтингом более 24. Для автоматического отбора и сравнительного анализа белков результаты поиска по Mascot обрабатывались с помощью специальной программы.

Все выявленные белки, согласно частоте их встречаемости в образцах в определенные периоды эксперимента, были подвергнуты кластерному анализу. Для анализа функциональных ассоциаций между белками в кластерах использовалась компьютерная система ANDCell (Associative Networks Discovery in Cells), которая осуществляет автоматическую экстракцию фактов и знаний о взаимосвязях между белками, генами, метаболитами, микроРНК, клеточными компонентами, молекулярными процессами и их ассоциациях с заболеваниями из текстов научных публикаций и баз данных [6].

В качестве источника научных публикаций использовали базу данных PubMed, объем которой составлял более 5 млн фактов.

Для определения места образования и функции выявленных белков, а также для анализа биологических процессов, в которых они участвуют, использовали следующие биоинформационные ресурсы: UniProtKB, TiGER (Tissuecific Gene Expression and Regulation).

О динамике изменения протеома судили по частоте встречаемости белков в образцах, предполагая, что факт обнаружения белка в образце зависит от его концентрации.

Результаты и обсуждение

Удалось идентифицировать 256 белков, из которых для 43 белков различия в частоте обнаружения между фоном и 4-ми сутками СИ составили более ± 20 %. С использованием системы ANDSystem мы определили связи 256 белков с различными биологическими процессами и сформировали 2 группы белков, 1-я из которых была связана с сердечно-сосудистой системой (ССС), а 2-я – с выделительной системой.

Группа белков, отражающих функции СССР, содержала 9 протеинов. Результаты анализа данной группы были опубликованы ранее [7].

Группа белков, осуществляющая свои функции в выделительной системе, включала 18 белков, 7 из которых демонстрировали изменения частоты своего обнаружения на 4-е сутки СИ, по сравнению с фоновыми значениями (таблица).

Для понимания выявленной динамики протеомного состава мочи на фоне 5-суточной СИ необходимо рассмотреть функции обнаруженных белков.

Кубулин (CUBN_HUMAN, МВ 398,736 Да) и *мегалин* (LRP2_HUMAN, МВ 521,958 Да) – гликопротеиновые рецепторы, мембранные белки, которые совместно осуществляют рецептор-опосредованный эндоцитоз белков через апикальную мембрану клеток проксимальных канальцев почек. Эндоцитоз осуществляется после связи комплекса лиганд-кубулин с мегалином, который опосредует внутриклеточное перемещение кубулина [8]. Появление в моче фрагментов мембранных рецепторов, скорее всего, означает, что они вошли в состав экзосом. Известно, что дефицит кубулина приводит к потере альбумина и апоА-I с мочой [9] и увеличение экспрессии кубулина могло быть направлено на противодействие потере белков на фоне увеличения диуреза в 1-е сутки иммерсионного воздействия.

Витамин К-зависимый белок Z (PROZ, PZ, МВ 44,744 Да) является многодоменным витамин К-зависимым белком, который функционирует в артериях и костной ткани, регулируя активность матричного Gla-белка (MGP, MatrixGla-protein) и остеокальцина (BGP, BoneGla-protein) посредством трансформации радикалов глутаминовой кислоты в γ -карбоксиглутаминовую кислоту через процесс карбоксилирования, что делает биологически активными оба вышеназванных протеина, таким образом, PROZ играет ключевую роль в процессах минерализации и в предотвращении эктопической кальцификации [10].

Таблица

Число обнаружений белков в образцах мочи в эксперименте с 5-суточной «сухой» иммерсией

Белок	Фон	4-е сутки	Разница	%
	Число обнаружений			
CUBN_HUMAN	4	7	3	37
KLK1_HUMAN	4	7	3	37
MGA_HUMAN	0	3	3	37
LRP2_HUMAN	5	7	2	25
PROZ_HUMAN	5	7	2	25
AMPE_HUMAN	0	1	1	12
EGF_HUMAN	7	8	1	12
OSTP_HUMAN	7	8	1	12
DPP4_HUMAN	0	0	0	0
MUCEN_HUMAN	0	0	0	0
KNG1_HUMAN	7	7	0	0
NEP_HUMAN	1	0	-1	-12
S12A1_HUMAN	1	0	-1	-12
VCAM1_HUMAN	1	0	-1	-12
XPP2_HUMAN	1	0	-1	-12
UROM_HUMAN	4	3	-1	-12
AQP2_HUMAN	2	0	-2	-25
S12A3_HUMAN	2	0	-2	-25

Остеопонтин (OSTP, МВ 35,423 Да) – мультифункциональный высокофосфорилированный гликопротеин, относящийся к классу матричных белков, моделирующих минерализацию. Он присутствует во многих тканях и жидкостях организма. Остеопонтин был идентифицирован среди главных белковых компонентов почечных камней, содержащих оксалат моногидрат кальция в качестве органической матрицы. В то же время в моче остеопонтин является мощным ингибитором образования центров кристаллизации, роста и агрегации кристаллов оксалата кальция, на основании чего можно предполагать его роль в предотвращении камнеобразования [11].

В работе [12] исследовалось изменение содержания остеопонтина в образцах мочи 14 астронавтов до, во время и после КП. Во время КП не наблюдалось увеличения экскреции OSTP. Однако у большинства астронавтов в послеполетный период экскреция остеопонтина была увеличена с максимумом на 2-й неделе после приземления.

Белки калликреин-кининовой системы (ККС): KNG1 – кининоген-1 (МВ 71,957 Да) и KLK1 – калликреин-1 (МВ 28,890 Да). ККС является ключевой протеолитической системой, включающей калликреины, кининогены, рецепторы кининов, кининазы и участвующей в регуляции широкого спектра

физиологических функций организма. Калликреин-1 синтезируется во многих органах, включая почки и артерии, где при его участии образуются вазодилататоры брадикинин и каллидин. В почках калликреины продуцируются в клетках дистальных канальцев, где и происходит высвобождение кининов [13].

Кининогены являются полифункциональными гликопротеинами, молекулы которых представлены одной полипептидной цепью, которые под действием протеолитических ферментов превращаются в кинины, вовлекаясь в регуляцию почечных функций, оказывая сосудорасширяющее, натрийуретическое и мочегонное действия. В улучшении сердечной, почечной и неврологической функций, как полагают, главным «игроком» ККС, который участвует в этих эффектах, является именно KLK1 [14].

В ходе СИ было зафиксировано увеличение частоты встречаемости в образцах KNG1 и KLK1 на 4-е сутки по сравнению с фоном.

Синтезируемый канальцевым эпителием кортикальных сегментов нефрона калликреин поступает в канальцевую жидкость, а затем в мочу. В результате взаимодействия калликреина с кининогенами в дистальных канальцах образуется брадикинин, что приводит к усилению почечного кровотока, подавлению реабсорбции натрия и воды из организма [15].

Мальтаза-глюкоамилаза (MGA, МВ 209,852 Да) – фермент апикальной клеточной мембраны; он определяется в почках, тонком кишечнике, гранулоцитах. MGA играет основную роль в заключительных этапах расщепления крахмала до глюкозы, принимает участие в расщеплении полисахаридов. Для MGA было зарегистрировано увеличение частоты встречаемости в образцах на 4-е сутки по сравнению с фоном и достоверная корреляция с динамикой водопотребления.

Аквапорин-2 (AQP2_HUMAN МВ 28,837 Да) – белок апикальной мембраны эпителия собирательных трубок почек, формирующий молекулярный водный канал (пору) для переноса воды через липидный бислой мембран. Известно, что белки семейства аквапоринов, встраиваясь в мембрану, избирательно пропускают молекулы воды и являются совершенно непроницаемыми для заряженных частиц. Почечная экскреция воды регулируется главным образом через влияние вазопрессина на аквапорин-2 (AQP2), который экспрессируется в дистальном отделе нефрона, что ведет к реабсорбции осмотически свободной воды и концентрированию мочи. Показано, что вазопрессин усиливает экскрецию аквапорина-2 с мочой [16]. AQP2 может теряться при нарушении внутриклеточной рециркуляции, а также в состоянии усиленной почечной реабсорбции воды. Именно этот процесс является характерным для состояния почки после приземления космонавтов [17]. AQP2 поступает в мочу в составе экзосом небольшого

размера, образующихся без разрушения эпителиальных клеток [16]. Считается, что экскреция аквапорина-2 с мочой является потенциальным маркером для диагностики расстройств водного баланса: экскреция с мочой аквапорина-2 очень низкая (по сравнению со здоровыми) у больных с центральным несахарным диабетом, у детей с первичным ночным энурезом и, наоборот, значительно выше у пациентов при нарушении экскреции воды [18]. В ходе СИ выявили снижение частоты обнаружения в образцах AQP2 к 4-м суткам эксперимента по сравнению с фоновым значением.

Тиазид – чувствительный Na/Cl-котранспортер (S12A3_HUMAN (NCC), 113,139) – опосредует реабсорбцию натрия через апикальную мембрану дистальных извитых канальцев нефрона NCC, кодируется геном SLC12A3 (55 Кб, 26 экзонов) и принадлежит к семейству SLC12 электронейтральных котранспортеров ионов хлоридов. В почках NCC расположен в дистальных извитых канальцах [19]. Кроме почки, NCC экспрессируется в кишечнике и костной ткани, где он, скорее всего, участвует в транспорте натрия и кальция.

Уровень NCC находится под контролем сразу нескольких гормонов, в том числе альдостерона, ангиотензина II, глюкокортикоидов, эстрогенов, инсулина и вазопрессина. То обстоятельство, что NCC регулируют так много различных гормонов, предполагает, что реабсорбция натрия посредством NCC является важным гомеостатическим механизмом контроля. Альдостерон активирует NCC как при приеме внутрь, так и в ответ на рацион с низким содержанием натрия [20]. Неожиданным является то, что и ангиотензин II также способен активировать NCC, поскольку мишенью для его воздействия являются прежде всего проксимальные канальцы. Это влияние может быть обусловлено необходимостью активизировать ретенцию натрия при гиповолемии, так как это состояние характеризуется повышенным уровнем в плазме как ангиотензина II, так и альдостерона. В эксперименте с СИ выявили снижение частоты обнаружения в образцах S12A3 к 4-м суткам эксперимента по сравнению с фоновым значением.

Выводы

1. Протеомный профиль мочи отвечает на иммерсионное воздействие, что подтверждается изменением частоты встречаемости белков в образцах в зависимости от периода иммерсионного воздействия (4-е сутки эксперимента по сравнению с фоновыми значениями).

2. В ходе автоматической экстракции данных из базы данных PubMed с помощью системы ANDCell удалось установить ассоциативные связи с функциями выделительной системы.

Таким образом, изучение физиологических функций выявленных белков может, с одной стороны, подтвердить уже устоявшиеся представления о физиологическом ответе на иммерсионное воздействие, а с другой – предоставить новую информацию о ранее неизвестных механизмах адаптивного процесса.

Список литературы

1. Томиловская Е.С. Эксперимент с 5-суточной иммерсией: задачи, объем, структура исследований, особенности методических подходов // *Авиакосм. и экол. мед.* 2011. Т. 45. № 6. С. 3–7.

Tomilovskaya E.S. Experiment with 5-day dry immersion: objectives, content and structure of the investigations, methods // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2011. V. 45. № 6. P. 3–7.

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

Larina I.M., Sukhanov Yu.V., Lakota N.G. Mechanisms of early changes in water-electrolyte metabolism in man in various ground-based models of the effects of microgravity // Ibid. 1999. V. 33. № 4. P. 17–23.

3. Coon J.J., Zurbig P., Dakna M. et al. CE-MS analysis of the human urinary proteome for biomarker discovery and disease diagnostics // *Proteomics Clin. Appl.* 2008. V. 2. № 7–8. P. 964–973.

4. Валева О.А., Пастушкова Л.Х., Пахарукова Н.А. и др. Вариабельность протеома мочи здорового человека в эксперименте с 105-суточной изоляцией в гермообъекте // *Физиология человека.* 2011. Т. 37. № 3. С. 98–102.

Valeeva O.A., Pastushkova L.Kh., Pakharukova N.A. et al. Variability of urine proteome of healthy persons during 105-daily isolation // Fiziologiya cheloveka. 2011. V. 37. № 3. P. 98–102.

5. Ishihama Y., Rappsilber J., Andersen J.S., Mann M. Microcolumns with self-assembled particle frits for proteomics // *J. of Chromatogr.* 2002. V. 979. P. 233–239.

6. Demenkov P.S., Ivanisenko T.V., Kolchanov N.A., Ivanisenko V.A. ANDVisio: a new tool for graphic visualization and analysis of literature mined associative gene networks in the ANDSystem // *Silico Biol.* 2011–2012. V. 11. № 3–4. P. 149–161.

7. Пастушкова Л.Х., Ларина И.М., Кусто М.-А. и др. Идентификация белков сердечно-сосудистой системы у здоровых лиц при «сухой» иммерсии посредством изучения протеомного профиля мочи // *Физиология человека.* 2014. Т. 40. № 3. С. 109–119.

Pastushkova L.Kh., Larina I.M., Custaud M.-A. et al. Identification of proteins of cardiovascular system in healthy subjects' urine during «dry» immersion // Fiziologiya cheloveka. 2014. V. 40. № 3. P. 330–339.

8. Christensen E.I., Verroust P.J., Nielsen R. Receptor-mediated endocytosis in renal proximal tubule // *Pflugers Arch.* 2009. V. 458. № 6. P. 1039–1048.

9. Aseem O., Smith B.T., Cooley M.A. et al. Cubilin maintains blood levels of HDL and albumin // *J. Am. Soc. Nephrol.* 2014. V. 25. № 5. P. 1028–1036. doi: 10.1681/ASN.2013060671.

10. Zak-Gołab A., Okopień B., Chudek J. Vitamin K, bone metabolism and vascular calcification in chronic kidney disease // *Przegl. Lek.* 2011. V. 68. № 9. P. 629–632.

11. Kleinman J.G., Wesson J.A., Hughes J. Osteopontin and calcium stone formation // *Nephron. Physiol.* 2004. V. 98. № 2. P. 43–47.

12. Hoyer J.R., Pietrzyk R.A., Liu H., Whitson P.A. Effects of microgravity on urinary osteopontin // *J. Am. Soc. Nephrol.* 1999. V. 10 (Suppl.). № 14. P. S389–S393.

13. Ponticelli C., Meroni P.L., Liu K. Kallikreins and lupus nephritis // *J. Clin. Invest.* 2009. V. 119. № 4. P. 768–771.

14. Carretero O.A. Vascular remodeling and the kallikrein-kinin system // *Ibid.* 2005. V. 115. № 3. P. 588–591.

15. Katori M., Majima M. Renal (tissue) kallikrein-kinin system in the kidney and novel potential drugs for salt-sensitive hypertension // *Prog. Drug Res.* 2014. V. 69. P. 59–109.

16. Wen H., Frokiaer J., Kwon T.H., Nielsen S. Urinary excretion of aquaporin-2 in rat is mediated by a vasopressin-dependent apical pathway // *J. Am. Soc. Nephrol.* 1999. V. 10. № 7. P. 1416–1429.

17. Газенко О.Г., Григорьев А.И., Наточин Ю.В. Водно-солевой гомеостаз и космический полет // *Проблемы космической биологии.* М., 1986. Т. 54. С. 1–238.

Gazenko O.G., Grigoriev A.I., Natochin Yu.V. Water-salt homeostasis and space flight // *Problems of space biology.* Moscow, 1986. V. 54. P. 1–238.

18. Valenti G., Laera A., Pace G. et al. Urinary aquaporin 2 and calciuria correlate with the severity of enuresis in children // *J. Am. Soc. Nephrol.* 2000. V. 11. № 10. P. 1873–1881.

19. Arroyo J.P., Ronzaud C., Lagnaz D. et al. Aldosterone

paradox: differential regulation of ion transport in distal nephron // *Physiol. (Bethesda).* 2011. V. 26. P. 115–123.

20. Chiga M., Rai T., Yang S.S. et al. Dietary salt regulates the phosphorylation of OSR1/SPAK kinases and the sodium chloride cotransporter through aldosterone // *Kidney Int.* 2008. V. 74. P. 1403–1409.

Поступила 02.07.2014

SHIFTS IN URINE PROTEIN PROFILE DURING DRY IMMERSION

Pastushkova L.Kh., Kononikhin A.S., Tiys E.S., Nosovsky A.M., Dobrokhotov I.V., Ivanisenko V.A., Nikolaev E.N., Novoselova N.M., Custaud M.-A., Larina I.M.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2015. V. 49. № 4. P. 15–19

The study was aimed at tracking the proteomic profile of urine in 8 normal volunteers to 5-day dry immersion (DI). The proteome composition was determined by chromatography-mass spectrometry on high-efficient on-line liquid nano chromatograph Agilent 1100; complementary information about the protein spectra was obtained by dint of mass-spectrometer MaXis Impact 4G and hybrid mass-spectrometer LTQ-FT. Functional associations between proteins and biological functions were analyzed using computer system ANDCell (Associative Networks Discovery in Cells).

A total of 256 proteins were identified; for 43 proteins difference in the detection rate during the baseline data collection and on DI day 4 exceeded 20 %.

Key words: proteomics, urine proteomic profile, proteins, dry immersion, mass-spectrometry.

УДК 611.017.1.52:629.78.07

ПЕРЕСТРОЙКА ЛИМФОИДНОЙ ТКАНИ В СЕЛЕЗЕНКЕ И СТЕНКЕ ТОЩЕЙ КИШКИ МЫШЕЙ ПРИ НАЗЕМНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ УСЛОВИЙ СОДЕРЖАНИЯ ЖИВОТНЫХ В ПОЛЕТЕ БИОСПУТНИКА «БИОН-М1»

Григоренко Д.Е.¹, Аминова Г.Г.¹, Ерофеева Л.М.¹, Шенкман Б.С.², Ильин Е.А.²

¹Научно-исследовательский институт морфологии человека РАМН, Москва

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

E-mail: dinagrigorenko@yahoo.com

Цель исследования – микроскопическое изучение перестройки цитоархитектоники лимфоидной (иммунной) ткани в селезенке и стенке тощей кишки 19–20-недельных мышей-самцов C57BL/6N при моделировании некоторых условий содержания мышей в 30-суточном космическом полете (наземный эксперимент). Выявлены локальные особенности реакции морфофункциональных зон изучаемых органов. В селезенке усиливается реакция в центрах размножения лимфоидных узелков – зоне созревания В-лимфоцитов. Перестройка клеточного состава в периартериальных лимфоидных муфтах, являющихся морфологической зоной накопления Т-лимфоцитов, свидетельствует о подавлении ее функциональной активности. Изменения клеточного состава в структурных зонах стенки тощей кишки отражают снижение иммунологической активности органа. Результаты исследования органов у мышей после наземного эксперимента в полетной аппаратуре «БИОС-МЛЖ», свидетельствуют о том, что такие условия содержания, как непрерывный шум, гипокинезия, изоляция, кормление пастообразным кормом, ослабляют общий иммунитет у подопытных животных.

Ключевые слова: наземный эксперимент, селезенка, тощая кишка, лимфоидная ткань, клеточный состав.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2015. Т. 49. № 4. С. 20–25.

В задачи космической биологии и медицины входит не просто изучение биологических основ адаптации организма человека к длительному пребыванию в условиях космического полета (КП), но и изучение влияния на организм искусственной среды обитания на вновь создаваемых космических кораблях и станциях [1, 2]. Среди факторов КП важнейшим является невесомость [3]. Ограничение движений в условиях КП соответствует проявлению гипокинезии [3, 4]. Исследования показали, что на моделирование длительной гипокинезии организм человека отвечает аналогичными изменениями, возникающими при длительной невесомости [3, 5, 6]. В связи с увеличением длительности полетов в настоящее время продолжается поиск вариантов моделирования условий космического полета [7]. В этих целях на биоспутнике «Бион-М1» осуществлен

эксперимент с одновременным проведением в наземных условиях контрольного эксперимента [1]. Известно, что все изменения, происходящие в организме человека и животных, непосредственно связаны с состоянием иммунной (лимфоидной) ткани [8, 9]. Однако исследований органов иммунной системы, а также лимфоидных структур в стенках полых органов (в том числе пищеварительной системе) на морфологическом уровне практически не проводилось, хотя их функциональное состояние является показателем не только местного гуморального и клеточного иммунитета, но и иммунологической активности организма в целом [9, 10]. Исходя из этого, целью исследования явилось изучение перестройки клеточного состава лимфоидной ткани в селезенке и стенке тощей кишки у мышей C57BL/6N при моделировании условий длительного КП.

Методика

Объектом исследований явились мыши-самцы в возрасте 19–20 нед. Контрольная группа животных (6 особей) содержалась в условиях вивария. В наземном эксперименте животные (8 мышей) в течение 30 сут содержались в полетной аппаратуре «БИОС-МЛЖ», где воспроизводились такие же условия обитания, как на борту биоспутника «Бион-М1» в 30-суточном КП: постоянный шум, гипокинезия, изоляция, кормление пастообразным кормом, температура, влажность и газовый состав атмосферы [1]. Животные контрольной группы получали стандартный гранулированный комбикорм и воду в свободном доступе. Мыши в наземном эксперименте получали пастообразный корм, изготовленный из стандартного комбикорма, воды и казеина, в котором содержание воды составляло 76–78 % [1].

На следующие сутки после окончания эксперимента животные были забиты методом цервикальной дислокации. Эксперименты выполнялись в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов (Страсбург, 18 марта 1986 г.), а также приказом № 742 Министерства высшего и среднего

специального образования СССР «Об утверждении Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных» от 13.11.1984 г.

Селезенку и фрагменты тощей кишки мышей фиксировали в 10 %-ном растворе нейтрального формалина, заливали в парафин. Гистологические срезы толщиной 4-5 мкм окрашивали азурII-эозином, гематоксилином-эозином. В собственной пластинке слизистой оболочки стенки тощей кишки мышей исследовали клетки в центральной части ворсинок и между криптами. В селезенке – в центрах размножения лимфоидных узелков и в периартериальных лимфоидных муфтах (ПАЛМ). Для подсчета клеток на стандартной площади среза (880 мкм²) использовали 25-узловую морфометрическую сетку, вмонтированную в окуляр (10x) микроскопа (микроскоп Leica, объектив – x100). Абсолютное и относительное (в %) число клеток в структурных зонах органов определяли на единице площади гистологического среза (880 мкм²). Статистическая обработка результатов была проведена по программе Statistica 6.0 и Excel. Значимыми считали различия при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Селезенка – периферический орган иммунной системы, участвующий в формировании иммунного ответа в организме [8, 9]. Иммунный аппарат селезенки представлен лимфоидными узелками и ПАЛМ [9, 10]. Центры размножения лимфоидных узелков являются морфологической зоной созревания В-лимфоцитов и характеризуют состояние гуморального иммунитета. Периартериальные лимфоидные муфты – зона созревания и накопления Т-лимфоцитов, ответственных за клеточный иммунитет.

В контрольной группе мышей лимфоидные образования в селезенке были представлены в основном узелками без центра размножения. Лимфоидные узелки с центрами размножения немногочисленны. В этих узелках центры размножения небольшие, слабо выражены. По данным статистического анализа плотность распределения клеток в центрах размножения лимфоидных узелков составляла $62,00 \pm 3,63$ % клеток на единице площади гистологического среза (880 мкм²). Большая часть клеток – средние лимфоциты. Малодифференцированные клетки в основном были представлены большими лимфоцитами ($12,43 \pm 2,45$ %) и бластами ($2,18 \pm 0,57$ %). В центрах размножения узелков у контрольной группы мышей определяли клетки

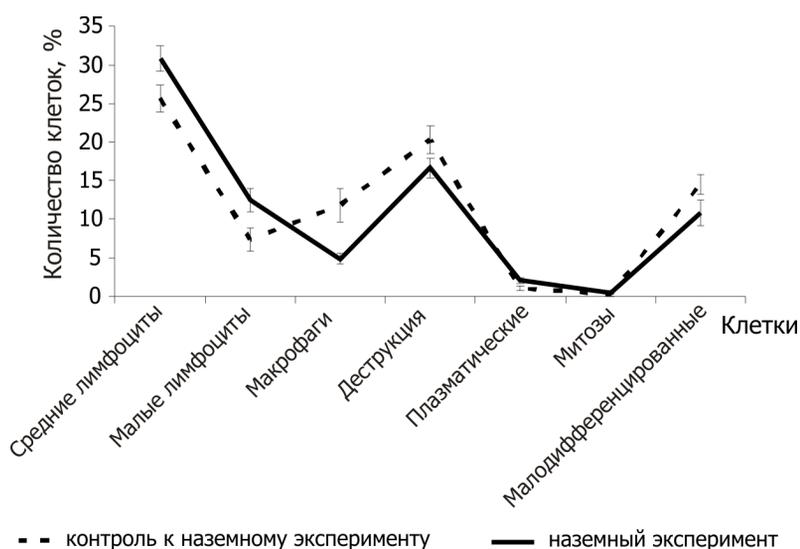


Рис. 1. Количество клеток (в %) в центрах размножения лимфоидных узелков в селезенке мышей в группе контроля (к наземному эксперименту) и в наземном эксперименте

с картинами митозов ($0,27 \pm 0,24$ %). Здесь также присутствовали антителпродуцирующие плазматические клетки – плазмобласты ($0,36 \pm 0,33$ %), вдвое больше содержалось плазмобластов ($0,68 \pm 0,38$ %). Доля малых лимфоцитов составляла $7,33 \pm 1,47$ %. Помимо клеток лимфоидного ряда в центрах размножения лимфоидных узелков было выявлено значительное число клеток в состоянии деструкции ($20,31 \pm 1,83$ %) и макрофагов ($11,82 \pm 2,14$ %).

В ПАЛМ селезенки контрольной группы мышей плотность распределения лимфоидных клеток составляла $80,00 \pm 2,56$ клетки на стандартной площади среза. Более половины всех клеток – лимфоциты ($55,52 \pm 2,76$ %), из которых $39,80 \pm 4,34$ % приходилось на малые лимфоциты и $15,72 \pm 2,41$ % – на средние лимфоциты. Среди клеток лимфоидного ряда в ПАЛМ контрольной группы мышей присутствовали малодифференцированные клетки – бласты ($0,25 \pm 0,23$ %), большие лимфоциты ($4,96 \pm 0,75$ %) и клетки с картинами митозов ($0,81 \pm 0,49$ %). Среди плазматических клеток преобладали зрелые формы – плазмоциты ($2,69 \pm 1,09$ %), несколько меньше было выявлено плазмобластов ($1,82 \pm 0,48$ %). В ПАЛМ клетки в состоянии деструкции составляли $9,41 \pm 1,48$ %, в 3 раза реже встречались макрофаги ($3,28 \pm 0,69$ %).

В наземных экспериментальных условиях у мышей в центрах размножения лимфоидных узелков селезенки плотность распределения лимфоидных клеток на стандартной площади среза увеличилась на 10,67 клетки, или в 1,2 раза ($72,67 \pm 2,17$ клетки). Достоверно возросло содержание средних и малых лимфоцитов (в 1,2 и 1,7 раза

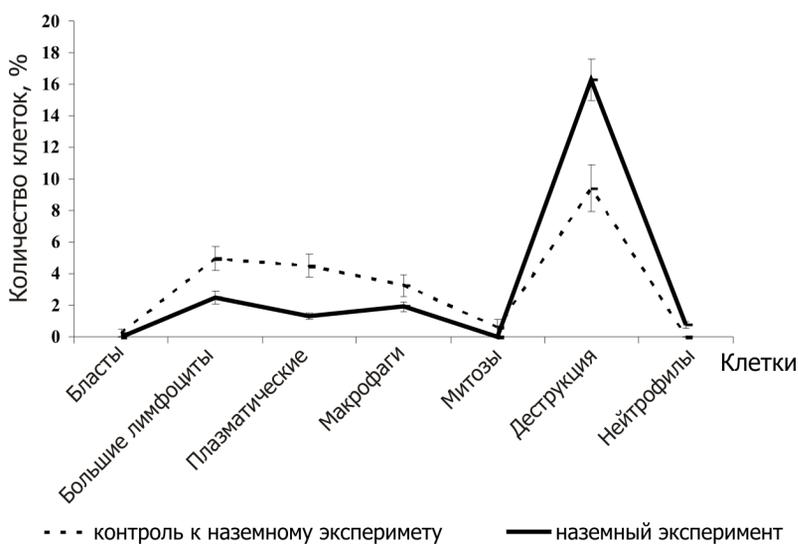


Рис. 2. Количество клеток (в %) в ПАЛМ селезенки мышей в виварной контрольной группе и после наземного эксперимента

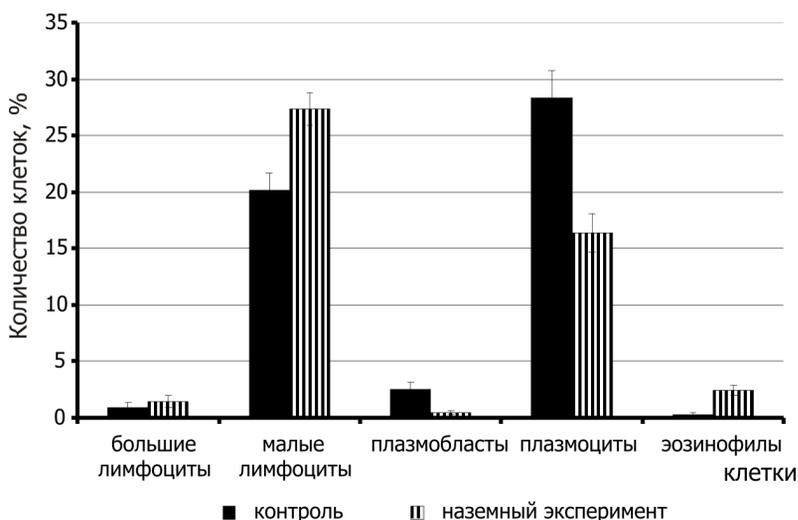


Рис. 3. Количество клеток (в %) в ворсинке тощей кишки мышей C57BL/6N в контроле и в наземном эксперименте

соответственно). В центрах размножения узелков в условиях эксперимента увеличивалось число клеток с картинами митозов (от $0,27 \pm 0,24$ до $0,50 \pm 0,19$ %) и плазматических клеток (плазмобластов – в 1,7 раза и плазмоцитов – в 2,4 раза, рис. 1). При этом происходило уменьшение числа больших лимфоцитов (в 1,2 раза), деструктивно измененных клеток и макрофагов (в 1,2 раза и 2,4 раза соответственно, см. рис. 1). Содержание бластов и ретикулярных клеток в центрах размножения узелков достоверно не отличалось от контрольных показателей.

В ПАЛМ селезенки у экспериментальных мышей по сравнению с контролем плотность распределения клеток на стандартной площади среза достоверно возросла (на 9,3 клетки), но при этом исчезли бласты и клетки с картинами митозов, содержание больших лимфоцитов и плазматических клеток, особенно плазмоцитов, резко уменьшалось (в 1,9 и 4,8 раза соответственно, рис. 2). На фоне усиления деструкции клеток (от 9,41 % в контроле до 16,31 % в наземном эксперименте) в ПАЛМ сокращалось число макрофагов (в 1,7 раза) и появлялись нейтрофилы ($0,77 \pm 0,21$ %), при этом содержание малых лимфоцитов возросло с $39,80 \pm 4,34$ % в контроле до $49,19 \pm 1,60$ % после наземного эксперимента.

Лимфоидная ткань в стенках тощей кишки осуществляет иммунный контроль за всем, что оказывается на поверхности слизистой оболочки и в ее толще: происходит распознавание и уничтожение веществ, несущих признаки генетически чужеродной информации [8, 9].

В контрольной группе мышей лимфоидные узелки в начальном отделе стенки тощей кишки встречались редко. В стенке тощей кишки лимфоидная ткань была представлена главным образом рассеянными в собственной пластинке слизистой оболочки органа клетками лимфоидного ряда. В области ворсинок тощей кишки на стандартной площади среза насчитывалось в среднем $63,53 \pm 3,68$ клетки. Значительная доля клеток в ворсинках приходилась на малые лимфоциты ($20,11 \pm 1,57$ %), средних лимфоцитов было выявлено $5,93 \pm 0,67$ %. Большие лимфоциты и бласты в собственной пластинке ворсинок составляли лишь доли процента от общего числа клеток ($0,89 \pm 0,40$ % больших лимфоцитов и $0,07 \pm 0,06$ % бластов).

Отмечался высокий уровень показателей, приходящихся на плазматические клетки, среди которых в 11 раз чаще встречались плазмоциты (плазмоциты – $28,39 \pm 2,44$ %, плазмобласты – $2,5 \pm 0,55$ %). В ворсинках тощей кишки контрольной группы мышей содержались нейтрофилы ($3,03 \pm 0,49$ %), в 13 раз реже встречались эозинофилы – $0,23 \pm 0,16$ % (рис. 3). Третью часть клеток в ворсинках составляли клетки стромы – $34,32 \pm 1,70$ %. В ворсинках часто наблюдали клетки в состоянии деструкции ($4,28 \pm 0,56$ %). При этом доля макрофагов была относительно небольшой ($0,23 \pm 0,15$ %).

В собственной пластинке слизистой оболочки кишки, расположенной в области крипт, у контрольных мышей плотность распределения клеток на стандартной площади среза составляла $40,47 \pm 2,07$ клетки. Основная масса приходилась на клетки стромы, доля которых была $57,76 \pm 1,85$ % от общего числа клеток. Почти четвертую часть клеток составляли малые лимфоциты ($24,57 \pm 1,89$ %). Средние лимфоциты встречались в 10 раз реже ($2,45 \pm 0,43$ %), чем малые лимфоциты. Изредка между криптами располагались большие лимфоциты – $1,21 \pm 0,35$ % (рис. 4). В контрольной группе животных в области крипт бластные формы клеток представляли собой единичные находки ($0,12 \pm 0,12$ %). Среди плазматических клеток преобладали плазмоциты ($3,22 \pm 0,69$ %), плазмобласты практически отсутствовали. Гранулоциты у контрольных животных были представлены нейтрофилами и эозинофилами (соответственно $5,23 \pm 0,89$ и $2,19 \pm 0,58$ %). Встречались клетки, находящиеся в состоянии деструкции ($3,26 \pm 0,57$ %), при этом в области крипт макрофаги практически отсутствовали.

В наземном эксперименте при моделировании условий КП у мышей в клеточном составе ворсинок тощей кишки происходили заметные изменения. Общее число клеток на стандартной площади среза уменьшалось в 1,2 раза ($51,60 \pm 2,17$ клетки). В то же время отмечали увеличение доли малых лимфоцитов на 7,24 %, сохранялись показатели больших лимфоцитов ($1,42 \pm 0,54$ %), а бласты полностью исчезали. Среди плазматических клеток в ворсинках в большей степени (в 5,8 раза) уменьшалось число плазмобластов ($0,43 \pm 0,19$ %) и значительно сокращалось число плазмоцитов – в 1,7 раза ($16,38 \pm 1,72$ %). Содержание нейтрофилов в условиях наземного эксперимента по сравнению с контролем не менялось. Однако среди гранулоцитов отмечали заметное увеличение числа эозинофилов ($2,39 \pm 0,49$ %) (см. рис. 3). В ворсинках тощей кишки в 1,3 раза увеличивалось содержание разрушающихся клеток ($5,62 \pm 0,55$ %), при этом макрофаги практически исчезали.

В собственной пластинке слизистой оболочки, расположенной между криптами, при наземном эксперименте по сравнению с контролем плотность распределения клеток достоверно не изменялась. Оставалось прежним также содержание малых и средних лимфоцитов, фибробластов, нейтрофилов. В эксперименте между криптами тощей кишки в равной степени (в 1,3 раза) увеличивалась доля эозинофилов ($3,50 \pm 0,53$ %) и число клеток, находящихся в состоянии деструкции (до $4,44 \pm 0,67$ %).

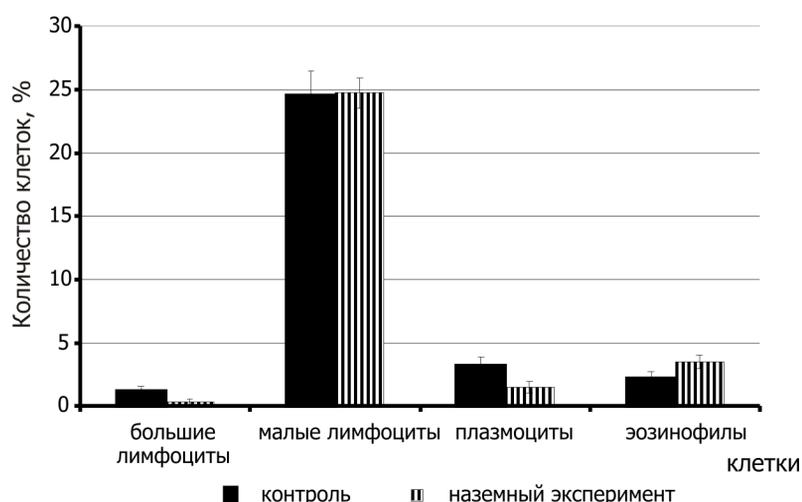


Рис. 4. Количество клеток (в %) собственной пластинки, расположенной в области крипт тощей кишки у мышей C57BL/6N в виварной контрольной группе и в наземном эксперименте

Количество больших лимфоцитов уменьшалось в 3,7 раза ($0,32 \pm 0,23$ %), при этом полностью исчезали бластные формы клеток. Среди плазматических клеток при наземном эксперименте определяли только зрелые формы – плазмоциты ($1,53 \pm 0,46$ %), число которых снижалось в 2,1 раза.

Таким образом, исследования влияния наземного эксперимента, моделирующего условия КП, выявили существенные изменения в реакции клеточного состава в лимфоидной ткани селезенки и стенке тощей кишки мышей. Четко проявлялись локальные особенности в реакции структурных зон в изучаемых органах. Анализ перестройки клеточного состава лимфоидной ткани в селезенке мышей показал, что в наземном эксперименте по сравнению с контролем в морфофункциональных зонах органа происходили изменения противоположного характера. В центрах размножения лимфоидных узелков отмечалось усиление лимфоцитопоеза, тогда как в ПАЛМ исчезали клетки с картинами митозов и бласты, что отражало резкое подавление лимфоцитопоеза в этой зоне органа [9, 10]. Снижение числа плазматических клеток (в 3,3 раза), особенно антителпродуцирующих (плазмоцитов в 4,9 раза), обусловлено ослаблением процессов цитопоеза и продукцией клеток, регулирующих гуморальный иммунитет [10]. В условиях наземного эксперимента имело место увеличение количества деструктивно измененных и разрушенных клеток на фоне уменьшения числа макрофагов. При этом по периферии ПАЛМ, возможно в качестве компенсаторной реакции, появлялись клетки гранулоцитарного ряда, в основном нейтрофилы [11]. Изменения в клеточном составе ПАЛМ селезенки мышей после наземного

эксперимента свидетельствуют об ослаблении клеточного иммунитета и способствуют развитию иммунодефицитных состояний [9, 12].

Одновременно с этим в центрах размножения лимфоидных узелков селезенки у мышей после наземного эксперимента сохранялись активная бласт-трансформация клеток (содержание бластов остается на уровне контрольной группы, повышается число больших лимфоцитов) с активизацией лимфоцитопозеза, которое выражалось в увеличении числа митотически делящихся клеток [13]. В центрах размножения узелков отмечалось активное созревание антителпродуцирующих плазматических клеток, что также свидетельствовало об усилении их функциональной активности в эксперименте [9, 10]. Отмеченные изменения citoархитектоники в центрах размножения лимфоидных узелков направлены, видимо, на развитие компенсаторных процессов в органе [9, 12].

В наземном эксперименте в стенке тощей кишки наиболее выраженные изменения происходили в ворсинках. В них резко сокращалось содержание плазматических клеток (плазмобластов – в 5,8 раза, плазмочитов – в 1,7 раза), что отражало снижение выработки иммуноглобулинов [14]. При этом в ворсинках, как и в области крипт, несколько усиливалась деструкция клеток, исчезали бласты и макрофаги. Меньше клеточный состав менялся в зоне крипт, где число стромальных клеток, лимфоцитов, нейтрофилов оставалось на уровне показателей виварного контроля.

Выводы

1. В условиях 30-суточного наземного эксперимента, моделирующего КП, реакция лимфоидной ткани селезенки и стенки тощей кишки у мышей различалась. Наиболее уязвимыми в селезенке оказались ПАЛМ, а в стенке кишечника – ворсинки.

2. Изменения в клеточном составе лимфоидной ткани исследуемых органов свидетельствуют об ослаблении общего иммунитета у подопытных животных при моделировании таких же условий содержания как при 30-суточном полете биоспутника «Бион-М1».

3. Нельзя исключить негативное влияние условий содержания животных в полетной аппаратуре на другие показатели их жизнедеятельности.

Список литературы

1. Андреев-Андриевский А.А., Шенкман Б.С., Попова А.С. и др. Экспериментальные исследования на мышах по программе полета биоспутника «Бион-М1» // *Авиакосм. и экол. мед.* 2014. Т. 48. № 1. С. 14–27.

Andreev-Andrievsky A.A., Shenkman B.S., Popova A.S. et al. Experimental studies with mice on the program of the biosatellite Bion-M1 mission // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2014. V. 48. № 1. P. 14–27.

2. Сычев В.Н., Левинских М.А., Гурьева Т.С., Подольский И.Г. Биологические системы жизнеобеспечения человека для космических экипажей. Некоторые итоги и перспективы // Там же. 2008. Т. 42. № 6. С. 92–97.

Sychev V.N., Levinskikh M.A., Gurieva T.S., Podolsky I.G. Biological systems of life support for space crews. Some results and anticipations // *Ibid.* 2008. V.42. № 6. P. 92–97.

3. Григорьев А.И., Ильин Е.А. Животные в космосе // *Вестн. Рос. академии наук.* 2007. Т. 77. № 11. С. 963–973.

Grigoriev A.I., Ilyin E.A. Animals in space // *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk.* 2007. V. 77. № 11. P. 963–973.

4. Коваленко Е.А. О проблеме гипокинезии в современной медицине // *Матер. 2-го Рос. конгр. по патофизиол. с междунар. участием «Патофизиология органов и систем. Типовые патологические процессы».* М., 2000. С. 335.

Kovalenko E.A. On the problem of hypokinesia in modern medicine // *Proc. of 2nd Rus. congr. On pathophysiol. with international participation «Pathophysiology of organs and systems. Typical pathological processes».* Moscow, 2000. P. 335.

5. Козловская И.Б. Фундаментальные и прикладные задачи иммерсионных исследований // *Авиакосм. и экол. мед.* 2008. Т. 42. № 5. С. 3–8.

Kozlovskaya I.B. Fundamental and applied problems of immersion researches // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2008. V. 42. № 5. P. 3–8.

6. Константинова И.В. Система иммунитета в экстремальных условиях // *Проблемы космической биологии.* М., 1989. Т. 59. 288 с.

Konstantinova I.V. The immune system in extreme conditions // *Problems of space biology.* Moscow, 1989. V. 59. 288 p.

7. Gohen B., Yakushin S., Tomko D., Badakva A., Kozlovskaya I. Experimentation with animal models in space // *Biol. med.* 2005. V. 10. P. 122–182.

8. Бородин Ю.И., Григорьев В.Н., Летягин А.Ю. и др. Функциональная морфология иммунной системы. Новосибирск, 1987.

Borodin Yu.I., Grigoriev V.N., Letyagin A.Yu. et al. Functional morphology of the immune system. Novosibirsk, 1987.

9. 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.

10. Труфакин В.А., Шмаков А.Н. Иммунная система и ее регуляторная роль в процессах пролиферации и дифференцировки в организме // *Вестн. АМН СССР.* 1991. № 2. С. 23–29.

Trufakin V.A., Shmakov A.N. The immune system and its regulatory role in processes of proliferation and a differentiation in the body // *Vestnik AMN SSSR.* 1991. № 2. P. 23–29.

11. Vaček A., Michurina T., Serova L.V. Decrease in the number of progenitors of erythrocytes, granulocytes and macrophages in bone marrow of rats after a 14-day flight onboard the Cosmos-2044 Biosatellite // *Folia Biologica*. 1991. V. 37. P. 35–41.

12. Хаитов Р.М., Пинегин Б.В. Иммунодефициты: диагностика и иммунотерапия // *Лечащий врач*. 1999. № 2–3. С. 63–72.

Khaitov R.M., Pinegin B.V. Immunodeficiencies: diagnostics and immunotherapy // *Lechashchiy vrach*. 1999. № 2–3. P. 63–72.

13. Gray D. Understanding germinal centre // *Res. Immunol*. 1991. V. 142. P. 236–242.

14. Григоренко Д.Е., Васянина К.А. Реакция лимфоидной ткани в стенке 12-перстной кишки и в лимфоидной бляшке крыс при моделировании гипокинезии // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2013. № 4 (51). С. 402–406.

Grigorenko D.E., Vasyanina K.A. The reaction of lymphoid tissue in the wall of the duodenum intestine and lymphoid Peyer in rats when modeling hypokinesia // *Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2013. № 4 (51). P. 402–406.

15. Логинов А.С., Аруин Л.И., Бродский Р.А. и др. Морфологические изменения органов пищеварения при длительном космическом полете на биоспутнике «Космос-782» // *Архив патологии*. 1978. Т. 40. № 9. С. 39–47.

Loginov A.S., Aruin L.I., Brodsky R.A. et al. Morphological changes of the digestive system during prolonged space flight on biosatellite Cosmos-782 // *Arkhiv patologii*. 1978. V. 40. № 9. P. 39–47.

16. Галактионов В.Г., Ушаков А.С. Влияние гипокинезии на клеточные и гуморальные показатели антителогенеза у крыс // *Косм. биол. и мед*. 1969. Т.3. № 5. С. 43–47.

Galaktionov B.G., Ushakov A.S. The effect of hypokinesia on cellular and humoral indicators of serogenesis at rats // *Kosmicheskaya biologiya i meditsina*. 1969. V. 3. № 5. P. 43–47.

REARRANGEMENT OF THE LYMPH TISSUE IN THE MICE SPLEEN AND JEJUNUM WALL DURING THE GROUND-BASED REPRODUCTION OF THE CONDITIONS OF ANIMAL MAINTENANCE IN THE BIOSATELLITE BION-M1 MISSION

Grigorenko D.E., Aminova G.G., Erofeeva L.M., Shenkman B.S., Ilyin E.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2015. V. 49. № 4. P. 20–25

Purpose of the investigation was microscopic examination of changes in cyto architectonics of the spleen and jejunum lymph (immune) tissue in 19–20-week C57BL/6N male mice exposed to some conditions their counterparts had lived in during the 30-d Bion-M1 mission (ground experiment). Local deviations in reactions of the morphofunctional zones of these organs were found. In the spleen, reaction in the centers of lymph nodules generation or the B-lymphocytes maturation zone grows strong. Changes in the cell composition of periarterial lymph sheaths that constitute the morphological site of T-lymphocytes accumulation suggest inhibition of its functional activity. Cell composition of the jejunum wall structure implies a decline of the jejunal immune activity. Our investigation of the organs taken from the ground control mice maintained in the flight BIOS-MLZh module evidences that unceasing noise, hypokinesia, isolation, and paste-like feed weaken general immunity of laboratory animals.

Key words: ground-based experiment, spleen, jejunum, lymph tissue, cellular composition.

Поступила 12.02.2015

УДК 57.043

ДЕМОНСТРАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТИ НЕГАТИВНОГО ЭФФЕКТА ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ТОТАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ МЫШЕЙ ПРОТОНАМИ

Иванов А.А.^{1, 2, 3}, Булынина Т.М.^{1, 3}, Молоканов А.Г.², Ворожцова С.В.^{1, 3},
Утина Д.М.^{2, 3}, Северюхин Ю.С.^{2, 3}, Ушаков И.Б.¹

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

²Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна

³«Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна», Москва

E-mail: taisiabulinina@mail.ru

Эксперименты выполнены на аутбредных самках мышей CD-1, SPF категории. Тотальное облучение животных проводили на горизонтальном медицинском пучке фазотрона Объединенного института ядерных исследований протонами со средней энергией 170 МэВ в дозах 1,0; 2,5 и 5,0 Гр. Облучали в 2 точках глубинного дозного распределения – на входе пучка протонов в объект или в области пика Брэгга, модифицированного гребенчатым фильтром. Использование физической защиты в виде гребенчатого фильтра приводит к увеличению линейной передачи энергии (ЛПЭ) протонов входа с энергией 170 МэВ с 0,49 до 1,6 кэВ/мкм и повышает биологическую эффективность протонов в 2 раза по тесту клеточности костного мозга при сравнении доз облучения, вызывающих 37 %-ное угнетение костно-мозгового кроветворения. При использовании физической защиты происходит увеличение мощности дозы излучения с 0,37 Гр/мин для протонов входа до 0,8 Гр/мин для замедленных протонов, что более чем в 2 раза сокращает время облучения, необходимое для достижения равных радиобиологических эффектов.

Ключевые слова: протоны, пик Брэгга, физическая защита, гребенчатый фильтр, линейная передача энергии, мощность дозы, костный мозг, селезенка.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2015. Т. 49. № 4. С. 26–30.

Радиационный фактор по своим необратимости, трудной предсказуемости и негативным последствиям является одним из наиболее опасных для здоровья космонавта в межпланетном космическом полете (КП) [1], что обуславливает актуальность проблемы надежной физической защиты космонавта от космического излучения [2]. Поскольку корпускулярное излучение – основная составная часть космической радиации, имеет принципиальное отличие от электромагнитного излучения по характеру поглощения веществом в форме образования пика Брэгга в сравнении с экспоненциальным типом поглощения фотонов [3], а также по образованию вторичного излучения [4], то и физическая защита

должна учитывать эти обстоятельства. В середине прошлого века, на заре космонавтики, было высказано предположение [5], что физическая защита от корпускулярного излучения может явиться фактором, усиливающим радиобиологический эффект космической радиации и радиационных поясов Земли. Данное предположение в определенной мере нашло подтверждение в оригинальном эксперименте [6], в котором физическая защита от излучения была смоделирована перпендикулярными по отношению к пучку протонов рядами экспериментальных животных.

Целью работы явилась оценка радиационного поражения организма по состоянию кроветворной системы при моделировании воздействия корпускулярного излучения с установленной физической преградой.

Методика

Эксперименты проводили на аутбредных самках мышей CD-1, SPF категории. Животные были размещены в групповых клетках, получали стандартный брикетированный корм и воду ad libitum, содержались в конвенциональных условиях. Все процедуры с животными осуществляли в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных», регламентированными приказом Министерства здравоохранения СССР № 755 от 12.08.1987 г., и были одобрены Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

Тотальное облучение животных проводили на горизонтальном пучке медицинского назначения фазотрона Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) протонами со средней энергией 170 МэВ в дозах 1,0; 2,5 и 5,0 Гр. Протонный пучок формировался в результате замедления в углеродных блоках генерируемых ускорителем протонов с энергией 660 МэВ до средней энергии 170 МэВ, наиболее оптимальной для облучения широкого класса мишеней.

Облучали в 2 точках глубинного дозного распределения – на входе пучка протонов в объект или в области модифицированного пика Брэгга. Протяженность пика Брэгга исходного протонного пучка при прохождении через вещество не превосходит 8 мм эквивалента воды (по 90 %-ному уровню мощности дозы). Этого, как правило, бывает недостаточно для облучения реальных мишеней размером в несколько сантиметров. Поэтому на пути пучка устанавливается специальное устройство – гребенчатый фильтр, представляющий собой устанавливаемый на пути пучка тяжелых заряженных частиц замедлитель, толщина которого изменяется в поперечном сечении пучка по определенному закону. Частицы, проходя через различные участки гребенчатого фильтра и теряя при этом часть первоначальной энергии, образуют набор пиков Брэгга с уменьшенным пробегом. С помощью рассеивателя пучок перемешивается и в результате суммирования этих сдвинутых пиков с незамедленной частью пучка формируется модифицированное (расширенное) дозное распределение [7, 8].

Конфигурация гребенчатого фильтра была рассчитана таким образом, чтобы прошедшие через него протоны при перемешивании образовывали требуемое глубинное дозное распределение – плоскую вершину с постоянной мощностью дозы заданной протяженности и крутой спад дозы за ней [9].

Поглощенная доза измерялась с помощью плоскопараллельной ионизационной камеры, расположенной на входе пучка в процедурную комнату и прокалиброванной с помощью клинического ионизационного дозиметра CD 27012 (Германия).

Абсолютная дозиметрическая калибровка протонного пучка осуществлялась наперстковой ионизационной камерой VAK-253 и клиническим дозиметром CD 27012, прокалиброванным на γ -источнике ^{60}Co установки «РОКУС-М» в соответствии с международными дозиметрическими протоколами [10]. Точность абсолютной калибровки протонного пучка составляла около 3 %.

Линейная передача энергии (ЛПЭ) протонов входа достигала 0,49 кэВ/мкм, мощность дозы – 0,37 Гр/мин, спектр энергии замедленных протонов – 0–30 МэВ, мощность дозы – 0,8 Гр/мин. Среднее значение ЛПЭ в области модифицированного пика Брэгга составляло 1,6 кэВ/мкм. В спектре ЛПЭ вклад в поглощенную дозу протонов с низкой ЛПЭ был примерно равен 67 %, с ЛПЭ 25–50 кэВ/мкм – 23 %, с высокой ЛПЭ (50–100 кэВ/мкм) – около 10 %. Равномерность облучения протонами контролировали с помощью радиохромной пленки Gafchromic RTQA-1010P, которая располагалась за облучаемым объектом. Биоконтролем служили необлученные животные.

Спектры линейной передачи энергии протонных пучков измеряли спектрометром ЛПЭ на основе кремниевого детектора [11].

В момент облучения животных помещали в размещенную по изоцентру клетку, изготовленную из перфорированного термопластика. Конструкция клетки позволяла изолированно друг от друга облучать одновременно 2 животных, находящихся в исходном боковом положении по отношению к пучку протонов.

Животных выводили из эксперимента методом декапитации через 24 ч после облучения. Это обусловлено тем, что в этот период радиационного поражения организма не происходит наложения эффектов восстановления подверженных радиации систем. Для оценки радиобиологического эффекта были использованы показатели клеточности костного мозга и массы селезенки. Массу тела животных определяли на электронных весах Zelmer, с ценой деления 1,0 г. Массу селезенки определяли на весах Ohaus с точностью измерения до 1 мг. Число кариоцитов в бедренной кости мышей определяли по методу, представленному в работе [12], с подсчетом в камере Горяева.

Анализ полученных результатов проводили с помощью общепринятых методов статистической обработки: определяли средние значения и их ошибки, рассчитывали критерий Стьюдента для оценки достоверности полученных результатов. При статистической обработке данных использовали программу Microsoft Excel 2010.

Результаты и обсуждение

Результаты поражающего действия протонов на кроветворную систему представлены на рис. 1, А, Б. Быстро делящиеся клетки кроветворных органов, таких, как костный мозг и селезенка, наиболее чувствительны к действию радиации, поэтому система кроветворения чрезвычайно быстро реагирует на облучение. Однако известно, что в изменении числа лейкоцитов периферической крови имеются фазы снижения и подъема, которые могут затруднить интерпретацию полученных данных [13].

При общем лучевом поражении наблюдали клеточное опустошение кроветворных органов, в частности селезенки [14], причем масса селезенки облученных животных уменьшалась пропорционально дозе облучения.

Через 24 ч после облучения у животных снижалась масса селезенки. Такой эффект демонстрирует тенденцию усиления радиобиологического эффекта при модифицирующем влиянии гребенчатого фильтра на пучок протонов по сравнению с протонами с энергией 170 МэВ при облучении в дозе 5 Гр (см. рис. 1, А).

Развитие аплазии костного мозга является основным проявлением радиационного воздействия [15]. Результаты показали (см. рис. 1, Б), что через 24 ч после облучения как пучком протонов,

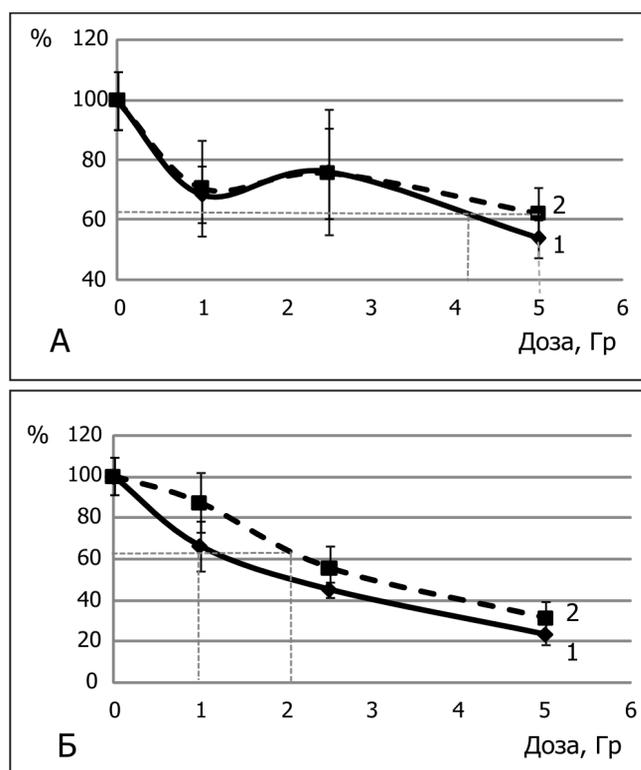


Рис. 1. Зависимость «доза – эффект» поражения селезенки (А) и костного мозга (Б) мышей CD-1 через 24 ч после воздействия пучка протонов, модифицированного гребенчатым фильтром (1) и на входе пучка протонов в объект (2).

Здесь и на рис. 2 пунктиром показан способ определения дозы облучения, необходимой для достижения равного радиобиологического эффекта. По оси ординат – уровень снижения массы селезенки и клеточности костного мозга по отношению к биоконтролю

модифицированным гребенчатым фильтром, так и протонами на входе в объект наблюдалось отчетливое дозозависимое поражение костно-мозгового кроветворения: степень аплазии костного мозга после облучения возрастала с увеличением дозы облучения с 1,0 до 5,0 Гр. При этом поражение при всех дозах облучения было более выражено при использовании физической защиты. По уровню 37 %-ного снижения клеточности костного мозга отмечено усиление в 2 раза радиобиологического эффекта при воздействии модифицированного пучка протонов (см. рис. 1, Б). Обнаруженный эффект можно связать с увеличением показателя ЛПЭ протонов при применении гребенчатого фильтра.

На рис. 2, А, Б полученные данные представлены с позиции времени воздействия протонного излучения на объект или времени его пребывания в радиационном поле.

Через 24 ч после непродолжительного облучения наблюдали резкое снижение массы селезенки

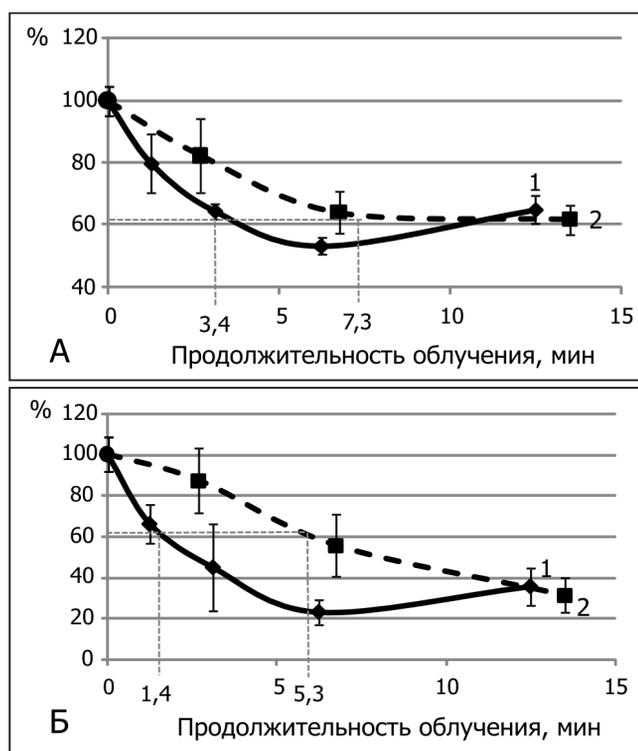


Рис. 2. Зависимость «время облучения – эффект» поражения селезенки (А) и костного мозга (Б) мышей CD-1 через 24 ч после воздействия пучка протонов, модифицированного гребенчатым фильтром (1) и на входе пучка протонов в объект (2)

до минимального значения (56 мг) с последующим выходом на плато (см. рис. 2, А). Время, необходимое для 37 %-ного снижения массы селезенки для протонов входа, составило 7,3 мин, а для пучка протонов, модифицированного гребенчатым фильтром – 3,4 мин, т.е. было снижено более чем в 2 раза. Таким образом, при использовании физической защиты за меньшее время достигался больший эффект поражения селезенки.

Как видно на рис. 2, Б, пучок протонов, модифицированный гребенчатым фильтром, который можно рассматривать в качестве физической защиты, в значительной степени поражал костный мозг, причем резкое снижение клеточности костного мозга начиналось при минимальной продолжительности облучения – порядка 1 мин, что свидетельствует о высокой биологической эффективности облучения. Клеточность костного мозга снизилась до 25 % от исходного уровня и стабилизировалась, по-видимому, за счет радиорезистентных стромальных элементов, в результате чего показатели у обеих групп сравнялись при более длительном облучении, что соответствует данным литературы [15]. Авторами этой работы показано, что при увеличении дозы γ -облучения с 4,0 до 7,0 Гр дальнейшее (ниже 24 %

от исходного уровня) снижение уровня ядродержащих клеток в костном мозге не происходило.

Полученные данные позволили рассчитать время облучения, которое приводит к 37 %-ному подавлению клеточности костного мозга. Для пучка протонов, модифицированного гребенчатым фильтром, этот показатель составил 1,4 мин, для пучка протонов со средней энергией 170 МэВ – 5,3 мин, т.е. модифицированный протонный пучок более чем в 3 раза сильнее снижал уровень ядродержащих клеток костного мозга.

Результаты проведенных исследований подтвердили предположение, высказанное в работе [5], о возможном усилении радиобиологического эффекта протонов при применении физической защиты от корпускулярного излучения.

Следует отметить, что оболочка космического корабля является сложной многокомпонентной структурой, корабль насыщен кабельными сетями и оборудованием, что может существенным образом изменить характеристики проникающего корпускулярного излучения [16]. Указанные факторы нашли отражение в математических расчетах эффективности физической защиты [17]. Однако как показали представленные исследования, для более точной оценки радиационной безопасности экипажа следует проводить радиобиологические эксперименты с испытанием элементов оболочек проектируемых космических кораблей на их способность защищать биообъекты от ионизирующих излучений.

Выводы

1. Использование физической защиты в виде гребенчатого фильтра приводит к увеличению ЛПЭ протонов входа с энергией 170 МэВ с 0,49 до 1,6 кэВ/мкм и повышает их биологическую эффективность в 2 раза по тесту клеточности костного мозга при сравнении доз облучения, вызывающих 37 %-ное угнетение костно-мозгового кроветворения.

2. При использовании физической защиты в виде гребенчатого фильтра происходит увеличение мощности дозы облучения с 0,37 Гр/мин для протонов входа до 0,8 Гр/мин для замедленных протонов, что сокращает более чем в 2 раза время облучения, необходимое для достижения равных радиобиологических эффектов. При этом, вероятно, суммируются эффект повышения ЛПЭ и мощности дозы облучения.

Список литературы

1. Григорьев Ю.Г., Ушаков И.Б., Красавин Е.А. и др. Космическая радиобиология за 55 лет (к 50-летию ГНЦ РФ – ИМБП РАН). М., 2013.

Grigoriev Yu.G., Ushakov I.B., Krasavin E.A. et al. Space radiobiology in 55 years (to the 50th anniversary of SSC of RF – IMBP RAS). Moscow, 2013.

2. Bengin V.V., Petrov V.M., Shafirkin A.V., Shurshakov V.A. Effect of solar particle events on astronauts // The Proceedings for the 22nd ISTC Japan Workshop on Space Weather Forecast in Russia / CIS 5–6 June 2002. NASDA, 2002. P. 90–112.

3. Хаффнер Дж. Ядерное излучение и защита в космосе: Сокр. пер. с англ. / Е.Е. Ковалев, ред. М., 1971.

Haffner G. Nuclear radiation and protection in space: Translation from eng. / Е.Е. Kovalev, ed. Moscow, 1971.

4. Сарычева Л.И. Введение в физику микромира. Физика частиц и ядер. М., 2010. С. 208–220.

Sarycheva L.I. Introduction to microcosm physics. Physics of Particles and Nuclei. Moscow, 2010. P. 208–220.

5. Masley A.J., Goedeke A.D. Complete dose analysis of the November 12, 1960 Solar Cosmic ray event // Life Sciences and Space Res. 1963. P. 95–109.

6. Морозов В.С., Шашков В.С., Давыдов Б.И. Моделирование биологического эффекта глубинной дозы моноэнергетического потока протонов // Косм. исследования. 1966. Т. 4. № 1. С. 172–174.

Morozov V.S., Shashkov V.S., Davydov B.I. Modeling of biological effect of a deep dose of a monoenergetic stream of protons // Kosmicheskie issledovaniya. 1966. V. 4. № 1. P. 172–174.

7. Иванов А.А., Молоканов А.Г., Ушаков И.Б. и др. Радиобиологические эффекты тотального облучения мышей протонами в области пика Брэгга // Авиакосм. и экол. мед. 2013. № 47. № 6. С. 49–54.

Ivanov A.A., Molokanov A.G., Ushakov I.B. et al. Radiobiological effects of total irradiation of mice by protons in the Bragg peak region // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2013. V. 47. № 6. P. 49–54.

8. Молоканов А.Г. Применение гребенчатых фильтров в немоноэнергетических протонных пучках // Сообщение ОИЯИ 9-89-391. Дубна, 1989.

Molokanov A.G. Use of edge filters in not monoenergetic proton bunches // Soobshchenie OIYAI 9-89-391. Dubna, 1989.

9. Молоканов А.Г. Формирование радиотерапевтического протонного пучка фазотрона ЛЯП ОИЯИ // Problems of atomic science and technology. 2008. № 5. Series Nuclear Physics Investigations. № 50. P. 146–149.

Molokanov A.G. Formation of the radiotherapeutic proton bunch of the phazotron LNP JINR // Problems of atomic science and technology. 2008. № 5. Series Nuclear Physics Investigations. № 50. P. 146–149.

10. Clinical proton dosimetry. P. 1. Beam production, beam delivery and measurement of absorbed dose // Report № 59. ICRU. Bethesda. Maryland. 1998.

11. Kubančák J., Molokanov A.G. Measurements of LET spectra of the JINR phazotron radiotherapy proton beam // Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). 2013. № 6. С. 90–92.

12. Mantz J.M. Method for the quantitative examination of the bone marrow of white rats // *Compt. Rend. Soc. Biol.* 1957. V. 151. № 11. P. 1957–1960.

13. Даренская Н.Г., Ушаков И.Б., Иванов И.В. и др. От эксперимента на животных – к человеку: поиски и решения. Воронеж, 2010.

Darenskaya N.G., Ushakov I.B., Ivanov I.V. et al. From experiment on animals – to person: searches and decisions. Voronezh, 2010.

14. Бутомо Н.В., Гребенюк А.Н., Легеза В.Н. и др. Основы медицинской радиобиологии. СПб., 2004.

Butomo N.V., Grebenyuk A.N., Legeza V.N. et al. Fundamentals of medical radiobiology. St. Petersburg, 2004.

15. Белоусова О.И., Горизонтов П.Д., Федотова М.И. Радиация и система крови. М., 1971.

Belousova O.I., Gorizontov P.D., Fedotova M.I. Radiation and system of blood. Moscow, 1971.

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

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

17. 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., Kolomenskiy A.V., Mitrikas V.G., Petrov V.M. Dose rates and the value of the radiation risk to cosmonauts during an expedition to Mars, based on real engineering development Martian ship // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2010. V. 44. № 1. P. 5–14.

DEMONSTRATION OF LIKELIHOOD OF THE NEGATIVE EFFECT OF PHYSICAL PROTECTION DURING TOTAL PROTON IRRADIATION OF MICE

Ivanov A.A., Bulynina T.M., Molokanov A.G., Vorozhtsova S.V., Utina D.M., Severyukhin Yu.S., Ushakov I.B.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2015. V. 49. № 4. P. 26–30

The experiments were performed with outbred CD-1 male mice (SPF category). Total irradiation at 1.0; 2.5 and 5.0 Gy by protons with the average energy of 170 MeV was conducted in a level medical beam of the phasotron at the Joint Institute of Nuclear Investigations. Targets were 2 points of in-depth dose distribution, i.e. beam entrance of the object, and modified Bragg peak. As a physical protector, the comb filter increases linear energy transfer (LET) of 170 MeV entrance protons from 0.49 keV/μm to 1.6 keV/μm and, according to the bone marrow test, doubles the biological effectiveness of protons when comparing radiation doses that cause 37 % inhibition of blood cell formation in the bone marrow. Physical protection increases dose rate from 0.37 Gy/min for entrance protons to 0.8 Gy/min for moderated protons which more than in thrice reduces time of irradiation needed to reach an equal radiobiological effect.

Key words: protons, Bragg peak, in vivo, physical protection, comb filter, linear energy transfer, dose rate, bone marrow, spleen.

Поступила 16.12.2014

УДК 539.1.07+539.1.073+539.1.074.9+524.1-52:524.6

РАСЧЕТ РАДИАЦИОННЫХ НАГРУЗОК В АНТРОПОМОРФНОМ ФАНТОМЕ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Карташов Д.А., Шуршаков В.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва
E-mail: shurshakov@imbp.ru

В работе представлены результаты расчета доз космического ионизирующего излучения для условий, моделирующих отсек орбитальной станции, в котором установлена дополнительная защита, предназначенная для снижения радиационных нагрузок на космонавта. Дополнительная защита представляет собой слой массовой толщиной ~ 6 г/см² (средняя плотность 0,62 г/см³), покрывающий наружную стенку отсека и состоящий из влажных тканевых салфеток и полотенец, предназначенных для штатного использования космонавтами в гигиенических целях. Тело космонавта моделируется тканеэквивалентным антропоморфным фантомом. Расчет доз проведен для типовой орбиты Международной космической станции (МКС) с учетом продольной и поперечной ориентации фантома по отношению к стенке отсека в условиях дополнительной защиты и при ее отсутствии. Выполненные расчеты распределения доз в теле космонавта уточняют прогнозируемые уровни радиационной нагрузки. Использование дополнительной защиты позволяет снижать радиационные нагрузки на критические органы космонавта при орбитальных полетах на ~ 20 % в зависимости от глубины их залегания и пространственной ориентации тела в отсеке МКС.

Ключевые слова: космическая станция, радиация, расчет доз, антропоморфный фантом, противорадиационная защита.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2015. Т. 49. № 4. С. 31–37.

Как известно, отсеки модулей космических станций в силу конструктивных особенностей имеют различную защищенность от ионизирующего космического излучения. Например, на служебном модуле (СМ) российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС) наименее защищенным отсеком является каюта [1], предназначенная для отдыха и сна, где космонавт проводит не менее трети времени суток.

В случае необходимости длительного пребывания космонавта в отсеке со слабой защищенностью для снижения радиационных нагрузок может быть рекомендовано применение дополнительной защиты (ДЗ). Под ДЗ понимается слой вещества, как правило, на водной основе, размещаемый на

наружной, наименее защищенной стенке отсека для увеличения противорадиационной защищенности космонавта.

Подобные условия были воспроизведены в рамках космического эксперимента «Матрешка-Р» [2] в каюте СМ РС МКС с укладкой «Шторка защитная» [3]. В качестве вещества ДЗ использовались упакованные в полиэтиленовые пакеты водосодержащие тканевые салфетки и полотенца, предназначенные для штатного использования космонавтами в качестве средств личной гигиены. В данном эксперименте измеряли распределение дозы на стенке каюты, в том числе и в местах, защищенных укладками, однако не были проведены измерения доз непосредственно в представительных точках тела человека, предназначенных для определения радиационного воздействия на критические органы.

В ГОСТ [4] в качестве представительных используются следующие точки: кожа (КЖ), хрусталик глаза (ХГ), гонады (ГН), кроветворная система (КТС), центральная нервная система (ЦНС), желудочно-кишечный тракт (ЖКТ). Задача измерения доз в упомянутых точках решается использованием в космических экспериментах моделей тела человека – тканеэквивалентных фантомов, шарового [5] или антропоморфного [6]. До настоящего времени в силу ограничений на массу и объем, присущих космическим полетам (КП), ни в одном из экспериментов не удалось совместить использование ДЗ и фантома в одном отсеке космической станции. Таким образом, оценка влияния ДЗ на дозы в критических органах может быть получена только путем расчетного моделирования. Для повышения достоверности проводимых оценок следует проводить верификацию результатов расчетов с использованием имеющихся экспериментальных данных и, при необходимости, корректировать применяемые расчетные модели.

Целью данной работы являлся расчет радиационных нагрузок в антропоморфном фантоме при использовании ДЗ отсека космической станции. В качестве расчетной методики использовали разработанный авторами и верифицированный ранее подход к определению функций экранированности

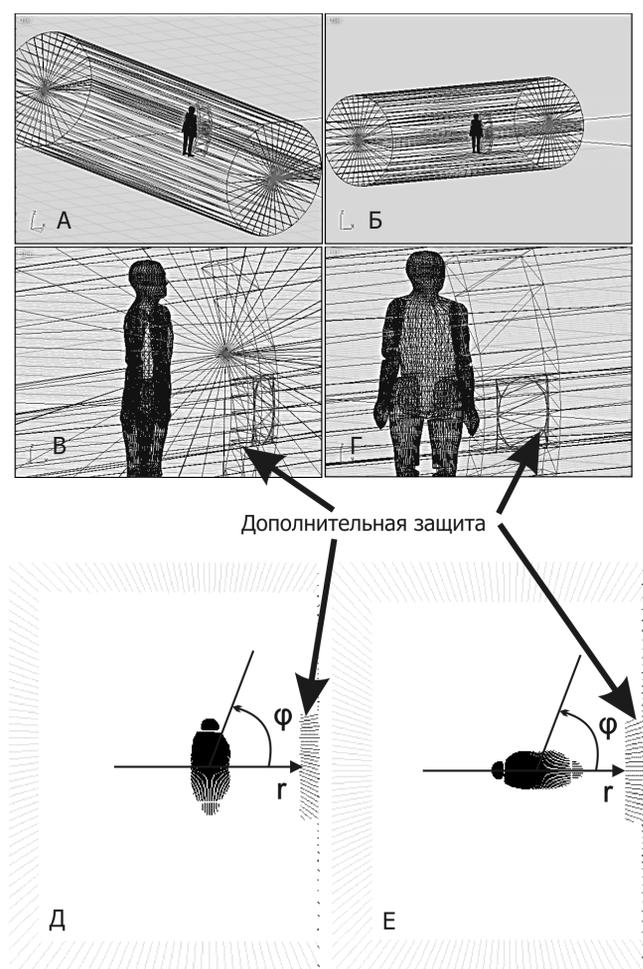


Рис. 1. Расположение объектов, моделирующих условия защищенности космонавта в отсеке космической станции: А, В, Д – космонавт ориентирован лицом к иллюминатору; Б, Г, Е – боком к иллюминатору; r , φ – координаты, используемые при расчетах распределения доз в фантоме

объектов произвольной формы [3, 7]. Такой подход представляет практический интерес для современной пилотируемой космонавтики при расчете защитных свойств проектируемых космических аппаратов.

Методика

В работе моделировались условия нахождения космонавта в отсеке орбитальной космической станции. В общем случае космическая станция представляет собой объект сложной геометрической формы с множеством отсеков, заполненных разнообразным оборудованием [1], которое вместе со стенками отсеков формирует защиту от внешнего ионизирующего излучения. При перемещении космонавта по станции условия его защищенности меняются. На космической станции имеются отсеки,

где космонавт проводит большую часть времени, связанную с отдыхом (сном) или выполнением полетной программы. В ряде случаев защита в таких отсеках существенно меньше, чем в других местах станции, что обусловлено ее конструктивными особенностями.

Как было показано в эксперименте со «Шторкой защитной», в каюте СМ РС МКС условия защищенности могут быть улучшены размещением ДЗ на стенке отсека [3]. Для математического описания условий облучения космонавта в отсеке предлагается использовать упрощенную модель станции в виде следующих объектов: корпус станции, ее внутренний объем, иллюминатор, антропоморфный фантом и ДЗ. Станция представлена в виде цилиндра диаметром 400 см, длиной 1200 см, общей массой 20 т, что соответствует характеристикам СМ РС МКС. Ее корпус в выбранном приближенном подходе моделируется цилиндрической алюминиевой оболочкой (боковая поверхность и основания). Толщина алюминиевой оболочки составляет 0,55 мм, масса – 2,6 т. Внутренний объем станции представлен однородным веществом массой 17,4 т, что соответствует средней плотности 0,12 г/см³. Дополнительная защита представлена в виде слоя вещества, примыкающего непосредственно к боковой поверхности станции.

На рис. 1 показано расположение объектов, составляющих принятую модель защищенности космонавта. В центре боковой поверхности отсека расположен иллюминатор в виде стеклянного диска диаметром 0,4 м и массовой толщиной 5 г/см² в тканевом эквиваленте. Параметры ДЗ заданы в соответствии с масса-габаритными характеристиками укладки «Шторка защитная»: длина 181 см, ширина 60 см, толщина 10 см, масса 67 кг водного эквивалента при средней плотности 0,62 г/см³ [3]. Геометрические центры фантома, иллюминатора и ДЗ расположены на одной оси, перпендикулярной боковой поверхности станции. В качестве антропоморфного фантома использовалась модель тела человека из однородного тканеэквивалентного вещества [4].

В общем случае ориентация тела космонавта в отсеке станции может быть произвольной. В то же время наиболее опасной с точки зрения воздействия радиации на критические органы является ориентация лицом к наименее защищенному направлению, наименее опасной – ориентация спиной, ориентация боком является переходной между ними [6]. С учетом наиболее опасных направлений радиационного воздействия на тело космонавта рассчитывались дозы в антропоморфном фантоме при 2 характерных ориентациях: лицом к ДЗ и боком к ДЗ, при этом расстояние центральной оси фантома от стенки отсека (ДЗ) не меняется.

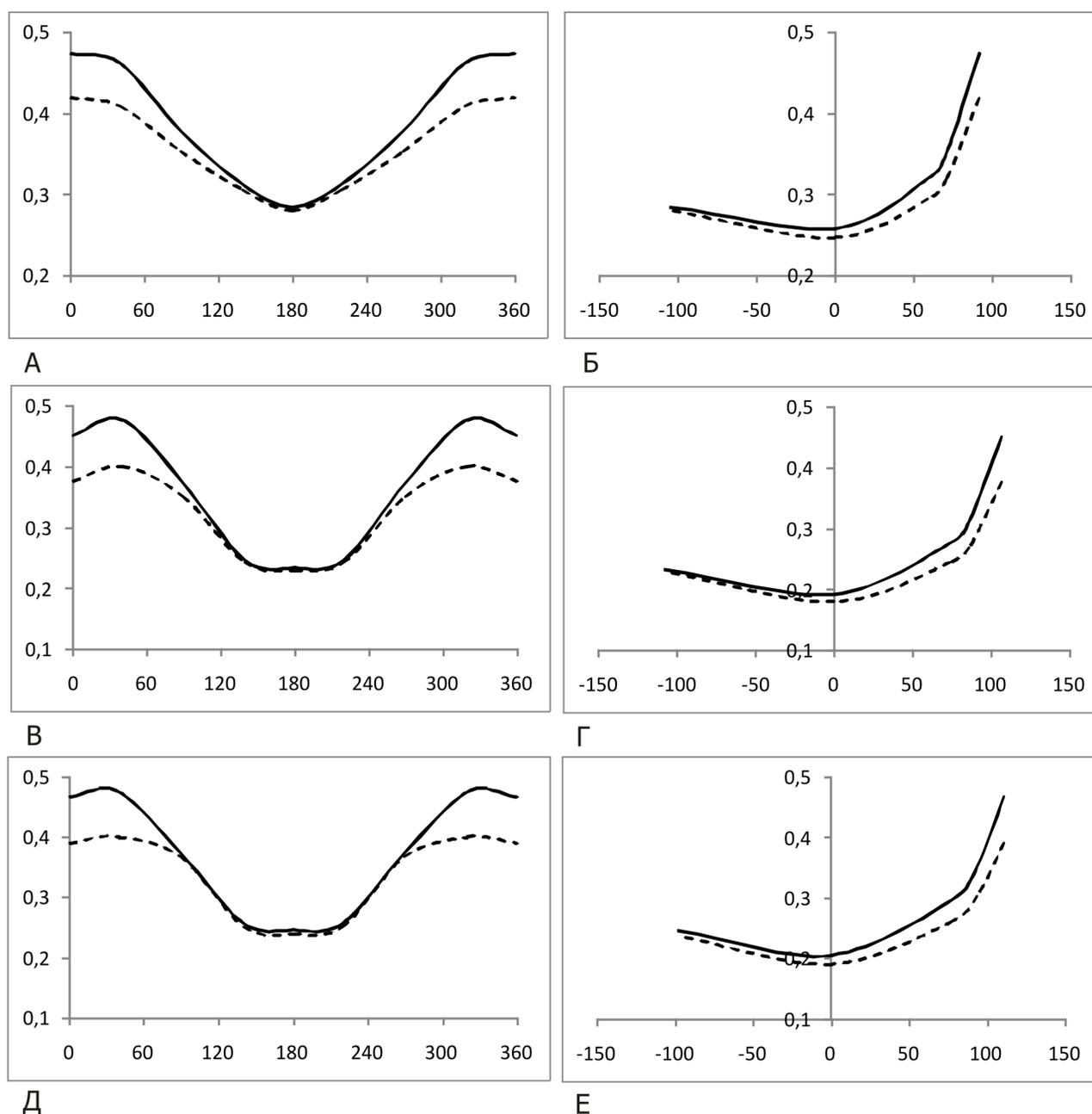


Рис. 2. Зависимость мощности дозы (мЗв/сут) для критического органа КЖ от условий облучения при ориентации фантома лицом к месту расположения ДЗ (А, В, Д – от полярного угла φ в плоскости среза, град; Б, Г, Е – от координаты x в плоскости среза, мм).

Здесь и на рис. 3: А, Б – срез фантома на уровне головы; В, Г – срез фантома на уровне груди; Д, Е – срез фантома на уровне гонад; сплошные линии – мощность дозы при отсутствии ДЗ на стенке отсека, штриховые – мощность дозы при наличии ДЗ

При расчете распределения доз в отсеке космического аппарата применялась методика, основанная на использовании функций экранированности (ФЭ) [7] и кривых ослабления доз [8] от различных источников космической радиации на низких околоземных орбитах. В качестве источников космической радиации рассматривались галактические

космические лучи и радиационные пояса Земли. Характерная орбита МКС принималась близкой к круговой, с наклоном $51,6^\circ$, для высот 350, 400 и 450 км, для фаз минимума и максимума солнечной активности (СА). Для данной орбиты были определены величины ослабления суточных доз на основе работы [8].

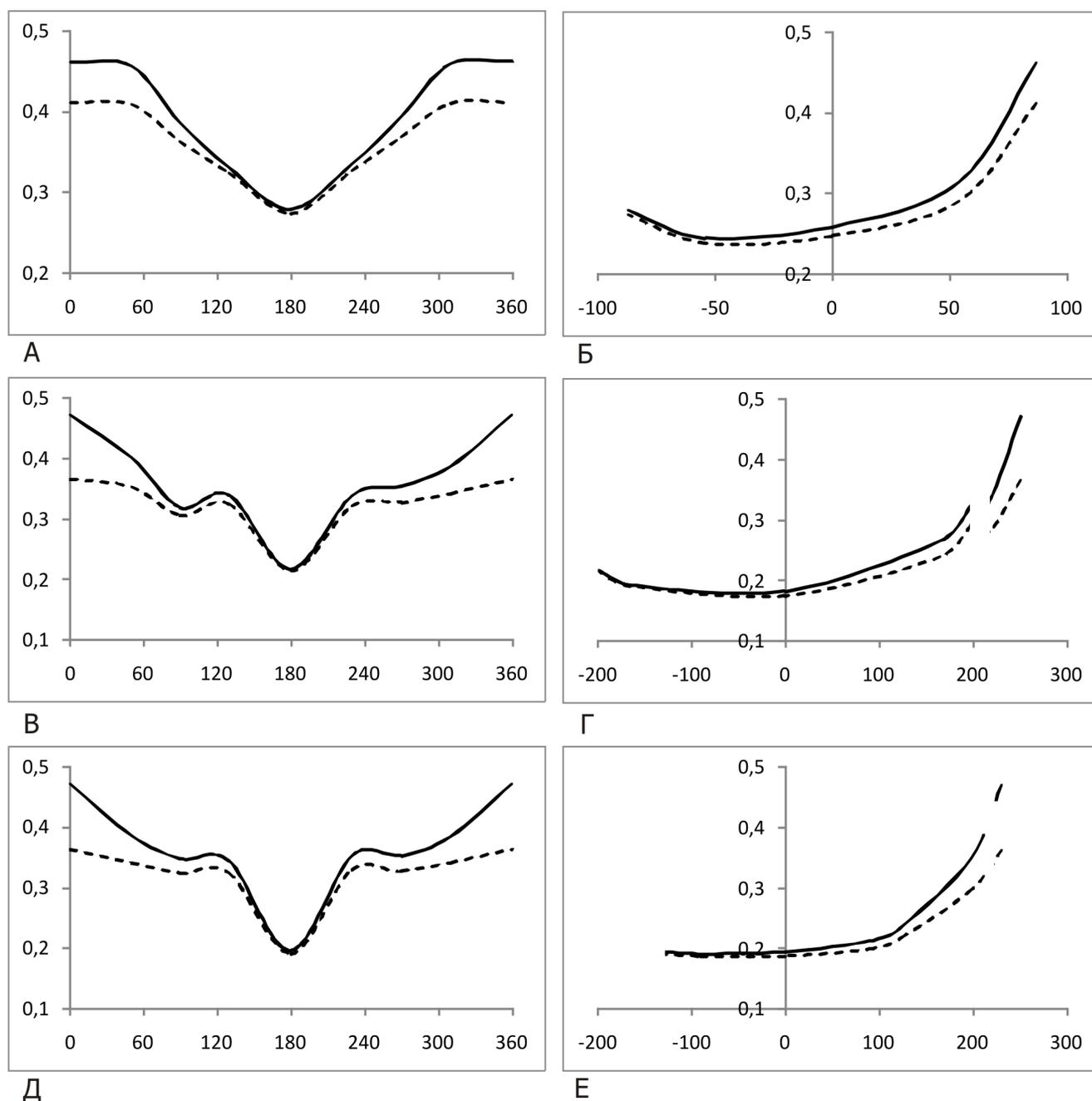


Рис. 3. Зависимость мощности дозы (мЗв/сут) для критического органа КЖ от условий облучения при ориентации фантома боком к месту расположения ДЗ (А, В, Д – от полярного угла φ в плоскости среза, град; Б, Г, Е – от координаты x в плоскости среза, мм)

Результаты и обсуждение

Для задания координат точек внутри и на поверхности антропоморфного фантома, а также представления результатов расчетов распределения доз использовалась цилиндрическая система координат, соответствующая описанию геометрии фантома в работе [4]. Для иллюстрации результатов расчетов были выбраны точки, расположенные

на 3 горизонтальных срезах фантома. Первый срез располагался на высоте $z = 1623$ мм в выбранной системе координат с началом отсчета в основании фантома, что соответствует уровню представительных точек «хрусталик глаза» (ХГ) и «центральная нервная система» (ЦНС). Второй срез – на высоте $z = 1316$ мм, на уровне груди, где расположены представительные точки «кожа» (КЖ), «кровеносная система» (КТС) и «желудочно-кишечный тракт»

(ЖКТ). Третий срез – на высоте $z = 879$ мм, где расположена точка, соответствующая критическому органу «гонады» (ГН). Для всех случаев ориентации фантома полярный угол φ отсчитывался против часовой стрелки от направления к ДЗ по нормали в плоскости среза (см. рис 1, Д, Е).

Ослабление дозы внутри тела фантома было рассчитано для точек в плоскости среза, лежащих на оси ОХ, направленной по нормали к ДЗ, при этом положительные координаты по оси абсцисс отсчитывались в направлении от центра среза к ДЗ, отрицательные – в противоположном направлении (см. рис. 1, Д, Е).

Для иллюстрации результатов расчетов на рис. 2, 3 показаны распределения мощности дозы в теле космонавта для высоты орбиты 400 км в фазе максимума СА как при наличии, так и при отсутствии ДЗ, установленной на стенке отсека, при этом рассмотрены случаи, когда фантом ориентирован лицом (см. рис. 2) или боком (см. рис. 3) к месту расположения ДЗ.

Как следует из произведенных расчетов при ориентации фантома лицом к месту расположения ДЗ, характер зависимости мощности дозы от расположения точки на поверхности тела был одинаков для всех 3 рассмотренных срезов (см. рис. 2, А, В, Д). Подобный вывод можно сделать и для характера зависимости мощности дозы и по глубине (см. рис. 2, Б, Г, Е). Аналогичное заключение можно сделать и при ориентации фантома боком к месту расположения ДЗ (см. рис. 3).

Максимум мощности дозы наблюдался для точек, расположенных на поверхности тела, ориентированной к наименее защищенной стенке отсека ($\varphi = 0^\circ$), в то время как минимум – на противоположной стороне тела ($\varphi = 180^\circ$). Перепад мощности дозы по поверхности тела составлял от 0,48 до 0,23 мЗв/сут, т.е. 2,1. При этом для ориентации фантома лицом к ДЗ имелась очевидная симметрия в дозовой зависимости левой ($0^\circ < \varphi < 180^\circ$) и правой ($180^\circ < \varphi < 360^\circ$) частей тела, а при ориентации фантома боком к месту расположения ДЗ зависимость мощности дозы для лицевой ($0^\circ < \varphi < 180^\circ$) и задней ($180^\circ < \varphi < 360^\circ$) частей фантома отличались, что наиболее заметно на уровне груди (см. рис. 3, В, Г). Такие особенности распределения мощности дозы были обусловлены геометрией фантома. Использование ДЗ, установленной на наименее защищенной стенке отсека, приводило к заметному (~20 %) уменьшению мощности дозы на стороне тела, ориентированной к ДЗ, в то время как на противоположной стороне тела эффект использования ДЗ практически отсутствовал, что объясняется дополнительной самоэкранированностью этой части тела. Таким образом, при наличии ДЗ распределение дозы по телу космонавта становилось более равномерным за счет уменьшения

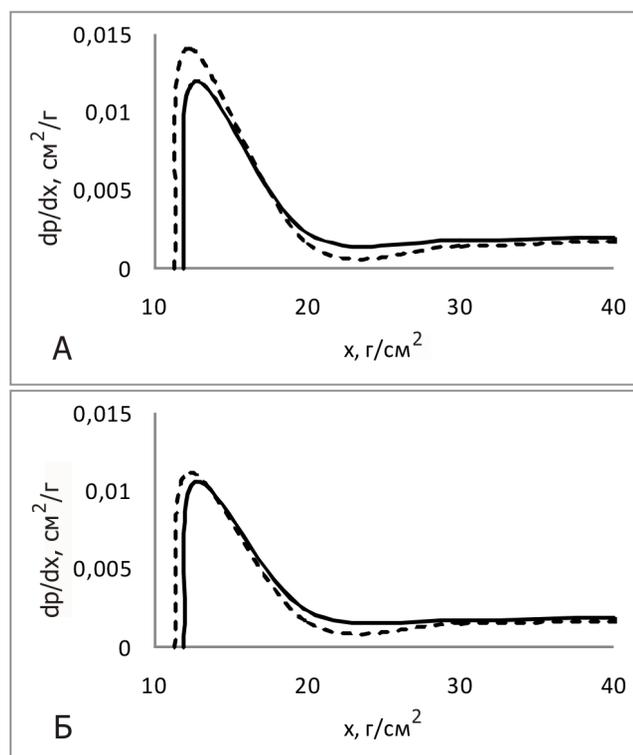


Рис. 4. Функции экранированности точек на поверхности фантома на уровне груди при $\varphi = 90^\circ$ (штриховая линия) и $\varphi = 130^\circ$ (сплошная линия). А – без дополнительной защиты, Б – при наличии дополнительной защиты

максимальных значений, при этом перепад мощности дозы по поверхности тела составляет от 0,40 до 0,23 мЗв/сут, т.е. 1,7.

Глубинный ход мощности дозы характеризовался быстрым спадом для областей тела со стороны стенки, минимум определялся вблизи центральной оси фантома, и незначительным ростом при приближении к противоположной стороне тела. По глубине тела наибольший эффект от использования ДЗ также наблюдали для точек, находящихся на поверхности тела, ориентированной к ДЗ. Разрыв в кривых зависимости мощности дозы от глубины в фантоме в радиальном направлении на уровне груди и гонад (см. рис. 3, Б, Г, Е) был обусловлен наличием между руками и телом фантома пустого пространства, для которого расчет доз не производился.

При ориентации фантома боком к месту расположения ДЗ в зависимости мощности дозы от полярного угла φ имели место локальные максимумы, связанные с эффектом самоэкранированности точек на поверхности тела. В качестве примера такого эффекта можно рассмотреть ФЭ 2 точек на поверхности тела на уровне груди при $\varphi = 90^\circ$ и 130° (рис. 4). Минимальная защита точки при $\varphi = 90^\circ$ меньше, чем для точки $\varphi = 130^\circ$, и не меняется при установке ДЗ в отсеке. Однако рассчитанная

мощность дозы для точки $\varphi = 90^\circ$ также меньше, чем соответствующая величина для точки $\varphi = 130^\circ$, что проявляется в виде локального максимума в районе $\varphi = 130^\circ$ (см. рис. 3). Полученный эффект отмечается также и при использовании ДЗ. Введение ДЗ, не меняя минимальную защиту, приводит к увеличению вероятности встретить большие толщины защиты. Проведенный анализ показывает, что в ряде случаев некорректно оценивать дозы только по минимальной толщине защиты. Для получения корректных оценок необходимо проводить расчет ФЭ и учитывать геометрию объектов. Данный подход должен найти отражение в учебно-методических изданиях, используемых для подготовки специалистов по радиационной безопасности в авиационно-космической медицине [9–12].

Обнаруженные точки на поверхности тела, в которых имеются локальные максимумы мощности дозы, являются наиболее предпочтительными для размещения индивидуальных дозиметров. В этом случае измеряемая в течение полета доза будет максимальной, что необходимо с точки зрения консервативного подхода к обеспечению учета доз от космической радиации.

При проведении анализа использования ДЗ в отсеке модуля были рассмотрены 2 положения тела по отношению к ДЗ, при этом рассчитаны распределения мощности дозы как на поверхности, так и по глубине тела. Изменения дозовых нагрузок при установке ДЗ в отсеке выявили наличие зависимости защитного эффекта как от глубины расположения органа внутри тела, так и от ориентации тела космонавта по отношению к ДЗ. При этом величина защитного эффекта уменьшалась при удалении точки от ДЗ, что необходимо учитывать при расчете эффективных доз в теле космонавта.

В ряде работ при расчете ФЭ в отсеке космического аппарата, например [1], учитываются отдельные элементы конструкции и интерьера, такие, как шпангоуты обшивки, иллюминаторы, технические емкости и их содержимое и т.п. В данной работе проведен анализ влияния иллюминатора, расположенного в средней части боковой поверхности отсека, на распределение мощности дозы в теле космонавта как при наличии ДЗ, так и без нее.

В нашей модели иллюминатор радиусом 20 см был расположен на уровне гонад, расстояние от центральной оси фантома до иллюминатора составляло ~80 см. Телесный угол, под которым виден иллюминатор из области гонад, примерно равнялся 2 % полного телесного угла, что само по себе предполагает возможность не учитывать подобные детали конструкции станции и интерьера при расчете доз. Расчеты дозовых распределений для случаев однородной стенки каюты (без иллюминатора) и при наличии иллюминатора из более плотного материала показали разницу в дозах также порядка

2 % как при наличии ДЗ, так и без нее. Полученный результат подтверждает корректность принятого в данной работе упрощения при описании расчетной геометрии, когда отдельные элементы станции учтены в общем балансе объемов и масс.

Выводы

1. Проведен расчет распределения дозовых нагрузок ионизирующего излучения в теле космонавта, находящегося в условиях, моделирующих каюту станции, в которой находилась дополнительная защита. Установлено, что для типовой орбиты МКС перепад мощности дозы по поверхности тела космонавта составляет от 0,23 до 0,48 мЗв/сут.

2. Показано, что использование ДЗ в каюте приводит к уменьшению мощности дозы в теле космонавта до 20 % с максимальным защитным эффектом на стороне, ориентированной к ДЗ.

3. В ряде случаев некорректно оценивать дозы по минимальной совокупной толщине защиты, необходимо учитывать геометрию и массы экранирующих объектов. Так, для точек, находящихся на поверхности тела фантома на уровне груди, выявлены локальные максимумы мощности дозы. Эти точки рекомендуются для размещения индивидуальных дозиметров космонавта.

4. Исследована зависимость защитного эффекта как от глубины расположения органа, так и от ориентации тела по отношению к ДЗ, что необходимо учитывать при расчете эффективных доз.

5. Рассчитанные распределения мощности дозы в теле космонавта позволяют оценить эффективность использования дополнительной защиты по критерию снижения радиационной нагрузки при планировании орбитальных полетов.

Выполнение данной работы частично поддержано темой «Фундаментальные научные исследования» РАН № 65.2.

Список литературы

1. Митрикас В.Г. Модель защищенности обитаемых отсеков служебного модуля Международной космической станции для оценки радиационной опасности // *Авиакосм. и экол. мед.* 2004. Т. 38. № 3. С. 41–47.

Mitrikas V.G. Shielding model of the ISS service module habitable compartments for radiation hazard estimation // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2004. V. 38. № 3. P. 41–47.

2. Акатов Ю.А., Архангельский В.В., Бенгин В.В. и др. Исследование закономерностей формирования радиационных полей в теле человека и в отсеках орбитальной станции в ходе космического полета // *Космонавтика и ракетостроение.* 2007. Т. 4. № 49. С. 71–84.

Akatov Yu.A., Arkhangelsky V.V., Benghin V.V. et al. Research of regularities of formation of radiation fields in human body and in orbital station compartments during space flight // *Kosmonavtika i raketostroenie*. 2007. V. 4. № 49. P. 71–84.

3. Карташов Д.А., Толочек Р.В., Шуршаков В.А., Ярманова Е.Н. Расчет радиационных нагрузок в отсеке космической станции при использовании дополнительной защиты // *Авиакосм. и экол. мед.* 2013. Т. 47. № 6. С. 61–66.

Kartashov D.A., Tolochek R.V., Shurshakov V.A., Yarmanova E.N. Calculation of radiation loads in space station compartment with additional shielding // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2013. V. 47. № 6. P. 61–66.

4. ГОСТ 25645.203-83. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Модель тела человека для расчета тканевой дозы. Госстандарт. М., 1984.

GOST 25645.203-83. Spacecrew radiation safety during spaceflight. Model of human body for computation of tissue dose. Gosstandart. Moscow, 1984.

5. Карцев И.С., Акатов Ю.А., Еременко В.Г. и др. Шаровой фантом для исследований радиационной обстановки в космическом пространстве. Конструктивные особенности // *Ядерные измерительно-информационные технологии*. 2005. Т. 4. № 16. С. 36–45.

Kartsev I.S., Akatov Yu.A., Eremenko V.G. et al. Spherical phantom for study of radiation environment in space. Design features // *Yadernye izmeritelno-informatsionnye tekhnologii*. 2005. V. 4. № 16. P. 36–45.

6. Reitz G., Berger T., Bilski T. et al. Astronaut's organ doses as inferred from measurements in a human phantom outside the ISS // *Radiat. Res.* 2009. V. 171. P. 225–235.

7. Карташов Д.А., Шуршаков В.А. Применение нового подхода к расчету функций экранированности при оценке доз излучения внутри фантома в отсеке космической станции // *Авиакосм. и экол. мед.* 2012. Т. 46. № 6. С. 55–61.

Kartashov D.A., Shurshakov V.A. Application of new approach to calculation of shielding functions at radiation dose estimation inside phantom in space station compartment // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2012. V. 46. № 6. P. 55–61.

8. Коломенский А.В. Характеристики поля излучений в космосе // *Проблемы космической биологии* / А.М. Уголев, ред. Л., Т. 60. 1989. С. 122–125.

Kolomensky A.V. Characteristics of radiation field in space // *Problems of space biology* / А.М. Ugolev, ed. Leningrad, V. 60. 1989. P. 122–125.

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

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

10. Начала авиационной и космической медицины: Учеб. пос. / И.Б. Ушаков, ред. М., 2007.

Beginnings of aviation and space medicine: Textbook / I.B. Ushakov, ed. Moscow, 2007.

11. Иванов И.В. Критериальные показатели воздействия ионизирующих излучений в сублетальных и летальных дозах: Метод. пос. М., 2005.

Ivanov I.V. Criterion indices of ionizing radiation effects at sub-lethal and lethal doses: Methodical manual. Moscow, 2005.

12. Иванов И.В. Исходная реактивность организма и радиационные воздействия в малых дозах: Науч.-метод. руководство. М., 2010.

Ivanov I.V. Initial reactivity of organism and radiation effects at small doses: Scientific-methodical manual. Moscow, 2010.

Поступила 18.12.2014

CALCULATION OF RADIATION LOADS ON THE ANTHROPOMORPHIC PHANTOM ONBOARD THE SPACE STATION IN THE CASE OF ADDITIONAL SHIELDING

Kartashov D.A., Shurshakov V.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2015. V. 49. № 4. P. 31–37

The paper presents the results of calculating doses from space ionizing radiation for a modeled orbital station cabin outfitted with an additional shield aimed to reduce radiation loads on cosmonaut. The shield is a layer with the mass thickness of ~6 g/cm² (mean density = 0.62 g/cm³) that covers the outer cabin wall and consists of wet tissues and towels used by cosmonauts for hygienic purposes. A tissue-equivalent anthropomorphic phantom imitates human body. Doses were calculated for the standard orbit of the International space station (ISS) with consideration of the longitudinal and transverse phantom orientation relative to the wall with or without the additional shield. Calculation of dose distribution in the human body improves prediction of radiation loads. The additional shield reduces radiation exposure of human critical organs by ~20 % depending on their depth and body spatial orientation in the ISS compartment.

Key words: space station, radiation, dose calculation, anthropomorphic phantom, radiation protection.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ-ЭНЕРГИИ И СЕРЕБРА НА ВОДУ В ПОТОКЕ ДЛЯ ЕЕ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ

Климарев С.И., Синяк Ю.Е.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва
E-mail: klimarev2006@gmail.com

В статье приводятся результаты исследований комбинированного воздействия СВЧ-энергии и серебра на зараженную воду с целью ее обеззараживания. При этом серебро использовалось как в ионной форме при минимальной концентрации в воде 0,01–0,02 мг/л, так и в твердом состоянии в виде спирали из серебряной проволоки.

Целью экспериментов являлся поиск технологических режимов процесса СВЧ-обеззараживания воды в потоке в присутствии серебра.

Ключевые слова: сверхвысокая частота (СВЧ), СВЧ-устройство, серебро, обеззараживание, микроорганизмы, вода.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2015. Т. 49. № 4. С. 38–41.

Метод обеззараживания с использованием серебра и его солей широко известен в практике водоподготовки и используется, в частности, для обработки бортовых запасов питьевой воды, доставляемой, например, на Международную космическую станцию (МКС). Разработчиками были определены оптимальные параметры получения водных растворов серебра (растворением металла с помощью электрического тока) и условия их использования [1].

Среди теорий, рассматривающих характер действия серебра на микроорганизмы, одной из наиболее распространенных является адсорбционная теория, изложенная в работе [1]. Основное положение этой теории сводится к тому, что клетка теряет жизнеспособность в результате взаимодействия электростатических сил, возникающих между отрицательно заряженной протоплазмой бактерии и положительно заряженными ионами серебра при их адсорбции на бактериальной клетке.

Проведенные исследования [1] позволили установить механизм действия серебра на микробную клетку, имеющий двухфазный характер: 1-я фаза – адсорбция, которая быстро сменяется 2-й фазой – «активным транспортом» металла в клетку. Установлено, что у различных видов микроорганизмов происходит высокая адсорбция серебра микробной клеткой. В таких исследованиях использовались 18-часовые культуры *Escherichia coli*,

Staphylococcus aureus и *Candida albicans* в концентрации 10^8 КОЕ/л, концентрация серебра составляла 0,05; 0,1 и 0,2 мг/л. Было показано, что при дозе 0,05 мг/л все внесенное серебро сорбировалось бактериями, при дозе 0,1 мг/л – на 90 %, а при дозе 0,2 мг/л – только на 50 %.

Таким образом, механизм действия серебра на микробную клетку заключается в том, что ионы серебра сорбируются клеточной оболочкой, нарушая ее деление (бактериостатический эффект). При избыточном накоплении ионов серебра на поверхности бактерии происходит его проникновение внутрь клетки. В цитоплазматической мембране серебро блокирует основные ферментные системы, что приводит к гибели бактериальной клетки. Кинетика отмирания бактерий под влиянием серебра зависит от его концентрации. Так, при дозе 1,0 мг/л гибель кишечной палочки наступает через 3 мин, при дозе 0,5 мг/л – через 20 мин, при дозе 0,2 мг/л – через 50 мин, а для дозы 0,05 мг/л требуется около 2 ч контакта для полного бактерицидного эффекта [1].

Параллельно с выяснением антимикробного спектра серебра в работе [1] были приведены исследования изменений бактерицидного действия серебра в комбинации с перекисью водорода, активным хлором, ультрафиолетом и ультразвуком, а также электрическим полем. опыты показали, что добавление в питьевую воду перекиси водорода в концентрации 3 мг/л позволяет получить надежный обеззараживающий эффект при дозе серебра 0,05 мг/л и времени контакта 20 мин. При добавлении в питьевую воду сначала хлора (1,0 мг/л), а затем через 5–10 мин серебра (0,05 мг/л) бактерицидный эффект дезинфектантов усиливается, а время контакта сокращается. Ультрафиолетовые лучи также значительно усиливают антимикробное действие серебра. Совместное воздействие серебра и ультрафиолета позволяет получить надежный обеззараживающий эффект через 1–2 мин.

Бактерицидный эффект малых доз серебра в воде может быть также значительно повышен и ускорен при воздействии ультразвука [2]. Применение ультразвука даже в нелетальных для клетки уровнях, ослабляет клеточные барьеры, способствует

быстрому проникновению серебра внутрь клетки и поражению ее жизненно важных центров.

Особого внимания по мнению авторов работы [3] заслуживает интенсификация процесса обеззараживания воды электрическим полем. Проведенные исследования показали, что отмирание патогенной микрофлоры (*Escherichia coli* 055.011, *Shigella sonnei*, *Salmonella typhimurium*) начиналось уже при относительно низких значениях потенциала электрического поля и концентрации ионов серебра 0,05 мг/л.

По мнению автора работы [1] на процесс обеззараживания воды серебром и током влияет не только напряженность поля, но и скорость потока воды, ее солевой состав, температура, pH, а также видовой состав находящихся в ней микроорганизмов. Однако влияние последних факторов выражено значительно меньше, чем в случае обеззараживания воды одним серебром. Так, если серебро оказывает незначительное действие на споровые культуры даже в концентрации 0,5 мг/л, то наложение поля позволяет проводить полное обеззараживание воды дозой серебра 0,05–0,1 мг/л при наличии в ней 10^5 КОЕ/л *Bacillus subtilis*.

При всей своей эффективности у серебра и его комбинаций с перечисленными выше факторами воздействия на микроорганизмы существуют некоторые неудобства их использования, а именно:

- длительное время (до нескольких десятков минут) воздействия серебра на микроорганизмы, суспендированные в воде, и в основном в условиях покоя жидкости;
- необходимость постоянного дозирования водного раствора ионного серебра, перекиси водорода, хлора; оценки количества химических реагентов в воде после обработки в соответствии с СанПиН;
- требование статических условий для обработки воды сочетанным воздействием серебра и ультразвука;
- способность комбинации серебра и ультрафиолета обрабатывать только воду, ввиду невозможности ультрафиолета проникать в непрозрачные жидкости.

В работе [1] также описан метод использования спирали из серебряной проволоки без дополнительного внешнего воздействия. Спираль из серебряной проволоки (содержание серебра 99,999 %, длина 20 м, диаметр 0,4 мм) помещалась в сосуд со 100 мл дистиллированной воды. Спустя 24, 48 и 72 ч оценивалось бактерицидное действие этой воды на кишечную палочку. Через каждые 24 ч отбирались пробы воды и производился посев на питательные среды. Проволока использовалась как с отмытой (25 %-ным раствором аммиака), так и с неотмытой поверхностью. Опыты показали, что отмытое серебро теряет свои бактерицидные свойства.

Результаты исследований свидетельствуют о возможности комбинированного воздействия СВЧ-энергии и минимальной концентрации серебра снижать время обеззараживания воды до нескольких секунд.

Методика

Исследования комбинированного воздействия СВЧ-энергии и серебра на воду в потоке проводились в 2 этапа. Первый этап включал в себя использование водного раствора ионного серебра из расчета заведомо минимальной концентрации в воде 0,01–0,02 мг/л. В этом случае для проведения экспериментов использовалось тандемное СВЧ-устройство волноводного типа, описанное в работе [2]. Оно состояло из проходного СВЧ-устройства, в котором происходило взаимодействие СВЧ-энергии с обрабатываемой водой, и концевой согласованной поглощающей нагрузки (КСН), выполнявшей роль предохранителя. В проходном устройстве использовалась трубка для прохода воды через волновод в виде раструба постоянной ширины (W), равной 0,66 размера широкой стенки волновода (a), с высотой на входе (h) 0,06–0,15 длины волны (λ) и с высотой на выходе (H) 0,18–0,47 длины волны (λ). В этом случае ось трубки располагалась под углом 30–45° к широким стенкам волновода.

На 2-м этапе исследований было применено оконечное коаксиальное СВЧ-устройство для нагрева воды в потоке, описанное в работе [5]. В этом устройстве использовалась трубка расширяющейся формы в виде конуса с диаметром на входе (d), равным 0,06–0,15 длины волны (λ), и диаметром на выходе (D), равным 0,18–0,47 длины волны (λ). В этой трубке конической формы на ее оси размещался турбулизатор из фторопласта с дисками, имеющими диаметр, равный половине диаметра трубки в месте расположения диска. На внешних диаметрах дисков жестко крепилась спираль из серебряной проволоки диаметром 0,45 мм, делающая полный оборот вокруг оси трубки. Спираль в рабочем положении демпфирована нагреваемой водой, предотвращающей искрение и образование разряда.

В качестве тест-микробов применялся набор *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosae* в концентрации 10^6 КОЕ/мл. Регистрация основных технологических параметров (расход и температура жидкости), а также отбор проб на биоконтроль осуществлялись при дискретных значениях температуры, а именно: 95, 90, 80, 70, 65, 60, 55, 50, 45 и 40 °С. Обрабатываемая жидкость – дехлорированная водопроводная питьевая вода с исходной температурой $20 \pm 0,5$ °С.

В 1-м варианте для иллюстрации работы устройства использовался СВЧ-генератор, генерирующий частоту 2450 ± 50 МГц, мощность 1,0 кВт; основной

Технологические параметры процесса обеззараживания воды СВЧ-энергией и серебром

Конечная температура, °С	Фактор воздействия: СВЧ-энергия + серебро					
	Оконечное коаксиальное устройство с трубкой расширяющейся формы (конусом) и спиралью из серебряной проволоки (D – 32 мм; d – 10 мм)			Устройство проходного типа с трубкой расширяющейся формы (раструбом) и ионное серебро (H – 32мм; h – 10 мм; W – 59,4 мм; ионное серебро 0,01–0,02 мг/л)		
	КПД, %	Производительность, л/мин	Биоконтроль	КПД, %	Производительность, л/мин	Биоконтроль
95	96	0,128	–	96	0,183	–
90	95	0,130	–	95	0,195	–
80	95	0,160	–	94	0,225	–
70	94	0,175	–	94	0,270	–
65	93	0,206	–	93	0,295	–
60	93	0,233	–	92	0,330	–
55	94	0,268	–	94	0,385	–
50	94	0,313	+	95	0,455	+
45	94	0,378	+	96	0,550	+

Примечание. «–» – отсутствие микробов в жидкости; «–», «+» – наличие микробов в жидкости в концентрации до 100 КОЕ/мл; «+» – наличие микробов в жидкости выше 100 КОЕ/мл.

тип волны – H_{10} ; сечение волновода (a × b) – 90 × 45 мм; трубка расширяющейся формы (раструб) имеет постоянную ширину W – 59,4 мм; высоту на входе h – 10 мм; высоту на выходе H – 32 мм и выполнена из фторопласта.

Во 2-м варианте использовался СВЧ-генератор, генерирующий частоту 2450 ± 50 МГц, мощностью 0,7 кВт. Основной тип волны H_{10} с переходом в TEM волну; трубка конусообразной расширяющейся формы имеет диаметр на входе d – 10 мм и диаметр на выходе D – 32 мм и выполнена из фторопласта.

Перед входом в трубку СВЧ-устройства и после нее устанавливались термометры по ГОСТ 215-57 и ГОСТ 215-73 для регистрации температуры воды с ценой деления 0,1 и 1,0 °С. Расход воды фиксировался ротаметром типа РЭС 3 с погрешностью измерений 5 %. Количество энергии, поглощенной водой после прохождения СВЧ-устройства, а также в КСН, определялось по уравнению теплового баланса.

Количество микроорганизмов после комбинированного воздействия и в контроле определялось по стандартной микробиологической методике чашечным методом.

Результаты и обсуждение

В соответствии с изложенной методикой были проведены экспериментальные исследования комбинированного воздействия на воду первоначально СВЧ-энергией с добавлением раствора ионного серебра из расчета его конечной концентрации 0,01–0,02 мг/л, а на 2-м этапе – с использованием спирали из серебряной проволоки. Полученные результаты исследований с основными технологическими параметрами сведены в общую таблицу для сравнения.

Из таблицы видно, что стерилизующий эффект при использовании раствора ионного серебра в воде и спирали из серебряной проволоки в комбинации с СВЧ-воздействием был идентичен и находился в интервале температур 95–55 °С. Коэффициент преобразования СВЧ-энергии в тепло (КПД) практически не отличался в этих 2 вариантах использования серебра и составлял в среднем 94 %. Некоторое отличие значений производительности было связано с разной мощностью СВЧ-генераторов (0,7 и 1,0 кВт), использованных в исследованиях, но это ни в коей мере не влияло на эффект воздействия

СВЧ-энергии на микроорганизмы, находившиеся в воде. При этом время пребывания воды при 55 °С в зоне СВЧ-воздействия в трубке расширяющейся формы (конусе) и спиралью из серебряной проволоки составляло 8,6 с, а в трубке расширяющейся формы (раструбе) и ионным серебром в концентрации 0,01–0,02 мг/л – 6,4 с. Следует подчеркнуть, что минимальная температура обеззараживания только при СВЧ-воздействии на воду составляла 65 °С. Эта разница в 10 °С сказывалась на производительности процесса обеззараживания (она снижалась) и удельных затратах энергии, которые увеличивались.

При наложении переменного электромагнитного поля (ЭМП) сверхвысокой частоты (СВЧ) на воду с микроорганизмами возникали поляризационные процессы, которым были подвержены как вода, так и находящиеся в ней микроорганизмы. Можно предположить с учетом результатов работы [3], что при этих процессах возрастает скорость движения бактерий в воде, вследствие чего сорбция положительно заряженных ионов серебра на отрицательно заряженных бактериях увеличивается. Возможно также, что под влиянием ЭМП СВЧ повышается проницаемость клеточной оболочки бактерий, что в свою очередь способствует проникновению серебра в цитоплазматическую мембрану, где расположены основные ферментные системы бактериальной клетки.

Как видно из приведенных выше экспериментальных данных эффективность комбинированного воздействия СВЧ-энергии и серебра выгодно отличается от предложенных ранее методов обеззараживания. Обеззараживающие средства в такой комбинации можно использовать для обработки любых жидкостей, потребляемых человеком в повседневной жизни. Особое значение такой подход может иметь при использовании предложенной комбинации в практической космонавтике, когда в воде на борту уже присутствует серебро в ионной форме. Практическое значение это может иметь также при создании баз на других планетах или спутниках.

Выводы

1. Проведенные экспериментальные исследования комбинированного воздействия СВЧ-энергии и серебра как в ионной форме, так и в виде спирали из проволоки на воду в потоке с целью ее обеззараживания подтвердили предположение о снижении необходимого времени воздействия с нескольких десятков минут до нескольких секунд.

2. Предпочтительным вариантом комбинированного воздействия для обеззараживания воды является применение серебра в виде спирали из серебряной проволоки, которая проста в изготовлении, надежна в эксплуатации. При достижении достаточной степени обеззараживания воды применение ее не требует тщательного дозирования раствора ионного серебра.

Работа выполнена в рамках базовой НИР РАН, номер гос. регистрации 01201373016.

Список литературы

1. Кульский Л.А. Серебряная вода. Киев, 1977. *Kulskiy L.A. Silver Water. Kiev, 1977.*
2. Эльпинер Л.И., Барков Г.Д. // Водоподготовка и очистка промышленных стоков. 1973. № 10. С. 27–32. *Elpiner L.I., Barkov G.D. // Vodopodgotovka i ochildka promyshlennykh stokov. № 10. P. 27-32.*
3. Кульский Л.А., Муzychuk Н.Т., Воробьева А.М., Мацкевич Е.С. // Электронная обработка материалов. 1976. № 6. С. 76–78. *Kulskiy L.A., Muzychuk N.T., Vorobieva A.M., Matskevich E.S. // Electronnaya obrabotka materialov. 1976. № 6. P. 76-78.*
4. Климарев С.И., Синяк Ю.Е. Обеззараживание воды при комбинированном воздействии СВЧ-энергии и активного хлора, образующегося при ее электролизе // Авиакосм. и экол. мед. 2014. Т. 48. № 2. С. 48–51. *Klimarev S.I., Sinyak Yu.E. Water disinfection by the combined exposure to super-high frequency energy and available chlorine produced during water electrolysis // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2014. V. 48. № 2. P. 48-51.*
5. Климарев С.И. Интенсификация физико-химических процессов СВЧ-энергией в регенерационной системе жизнеобеспечения экипажа космического корабля: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 2009. *Klimarev S.I. Intensification of physical chemical processes by UHF-energy in regenerative life support system for spaceship crew: Avtoreferat dissertatsii doktora tekhnicheskikh nauk. Moscow, 2009.*

Поступила 02.02.2015

INVESTIGATION OF THE COMBINED DISINFECTANT EFFECT OF ULTRA-HIGH FREQUENCY ENERGY AND SILVER ON WATER IN FLOW

Klimarev S.I., Siniak Yu.E.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2015. V. 49. № 4. P. 38-41

The paper is dedicated to the results of investigating the combined effect of ultra-high frequency (UHF) energy and silver on contaminated water. Silver was used both in the ion form at the minimal concentration of 0.01–0.02 mg/l and solid state, i.e. a silver wire spiral.

The purpose was to determine UHF-regimes of the flowing water disinfection process in the presence of silver.

Key words: ultra-high frequency (UHF), UHF-device, silver, disinfection, microorganisms, water.

КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 613.693+613.62+574.23:331.433(211)

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ МОРЯКОВ ИЗ СОСТАВА ЭКИПАЖЕЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ В ДЛИТЕЛЬНЫХ МОРСКИХ ПОХОДАХ

Мызников И.Л.¹, Бурцев Н.Н.², Бондаренко Н.В.², Хамидуллина А.Я.³

¹Государственный научно-исследовательский институт прикладных проблем, Санкт-Петербург

²Медицинская служба Северного флота, г. Североморск

³Медицинская служба Северного флота, пос. Видяево, Мурманская область

E-mail: myznikov@nm.ru

Авторы проанализировали заболеваемость подводников из состава экипажей атомной (ПЛА) и дизельной (ДПЛ) подводных лодок, базирующихся в условиях Кольского Заполярья, в период длительных морских походов в различные акватории Мирового океана. В статистику вошли отчеты по медицинскому обеспечению кораблей с 1969 г.

Проанализирован уровень заболеваемости и рассмотрены причины его изменений. По данным многолетних наблюдений ведущее место в структуре первичной заболеваемости военнослужащих, проходящих службу по контракту в экипажах подводных лодок, в период дальних морских походов являются заболевания органов дыхания, далее следуют заболевания кожи и подкожной клетчатки, заболевания органов пищеварения. Оценена распространенность хронических заболеваний у моряков в экипажах ПЛА и ДПЛ.

Авторы поднимают проблему излеченности стоматологических заболеваний у подводников.

Ключевые слова: морская медицина, подводники, заболеваемость, Кольское Заполярье, замкнутая экологическая система.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2015. Т. 49. № 4. С. 42–46.

Длительный морской поход является основным видом деятельности подводных сил Военно-морского флота. Подводные лодки с атомными энергетическими установками могут совершать многомесячные походы в подводном положении без всплытия. При этом полностью обеспечиваются параметры обитаемости корабля, которые поддерживаются за счет технических систем жизнеобеспечения.

Длительное пребывание подводников в замкнутых условиях объекта военной техники создает на разных этапах боевой службы близкие к экстремальным и экстремальные условия, в которых морякам приходится осуществлять свою военно-профессиональную деятельность, регламентированную корабельными расписаниями [2, 3].

В данной работе по доступным материалам была проанализирована заболеваемость подводников из состава экипажей атомной (ПЛА) и дизельной (ДПЛ) подводных лодок (ПЛ), базирующихся в условиях Кольского Заполярья, в период длительных морских походов в различные акватории Мирового океана с 1969 г.

Методика

Анализ заболеваемости подводников проводили по материалам годовых отчетов по медицинскому обеспечению кораблей с 1969 г. и отчетов начальника медицинской службы корабля (форма 7-нл) по материалам длительных морских походов с 1992 по 2013 г. Уровень заболеваемости в различных по продолжительности морских походах и численности экипажей для обеспечения сравнимости результатов традиционно рассчитывается через интенсивный показатель заболеваемости (ИПЗ), приведенный в работе [3]:

$$\text{ИПЗ} = (a_i \cdot 366 \cdot 1000) / (A_i \cdot T_i),$$

где 366 (365) – продолжительность отчетного года, в днях; a_i – количество случаев заболеваний на i -том корабле; A_i – количество личного состава i -того корабля изучаемой категории; T_i – число, равное продолжительности плавания, в днях; i – порядковый номер корабля.

Результаты и обсуждение

На протяжении всего периода наблюдения регистрируемый высокий уровень заболеваемости в морских походах на кораблях первых поколений в 1960-е годы неуклонно снижался (рисунок). Это связано с улучшением условий обитаемости на кораблях (в первую очередь, по системам жизнеобеспечения в условиях полной длительной герметизации), тылового обеспечения, качеством отбора

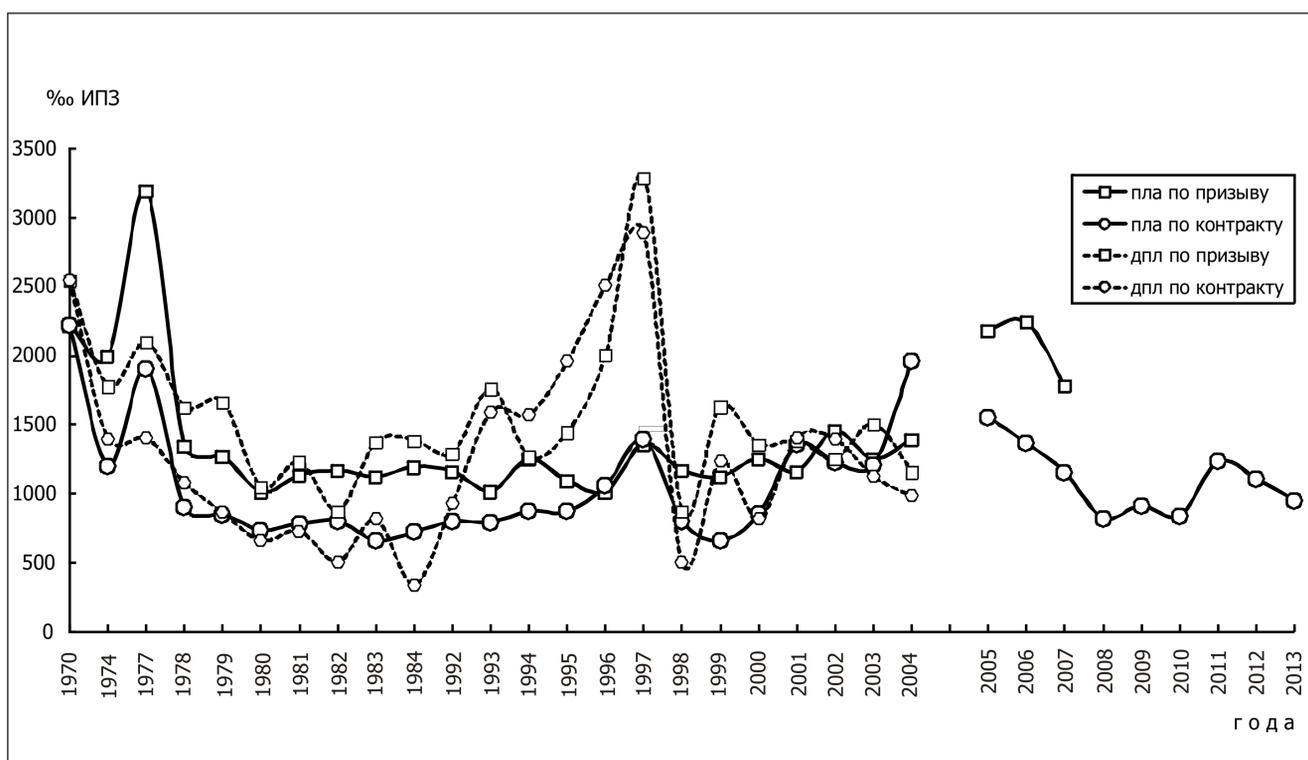


Рисунок. Заболеваемость моряков из состава экипажей ДПЛ и ПЛА за период с 1969 по 2013 г. в промилле интенсивного показателя заболеваемости. В период с 2008 г. учет заболеваемости в экипажах ПЛА и ДПЛ в морских походах нами велся суммарно. После 2007 г. (при переходе на годичный срок службы) военнослужащие, проходящие службу по призыву, из экипажей ПЛ исключены

кандидатов для прохождения службы в экипажах подводной лодки.

Позже имели место значительные подъемы заболеваемости в экипажах подводной лодки в длительных морских походах. В 1970-е годы произошел подъем заболеваемости в экипажах ПЛА. Это было связано с повышением интенсивности применения экипажей кораблей этого класса для несения боевых служб на 40–55 %, продолжительность которых увеличивалась на 20–45 %. Для некоторых проектов кораблей реальная продолжительность морских походов превышала их спецификационную автономность. Одновременно с этим уменьшилась обеспеченность резервными экипажами, отрабатывалась система маневренного базирования на судах плавучего тыла (плавбазы, госпитально-пассажирские суда) в различных регионах Мирового океана. Некоторые экипажи совершали по 2 боевые службы подряд, проводя месячный межпоходный период на плавбазе, в том числе, в экваториальных и субтропических широтах Центральной Атлантики и Индийского океана без достаточных условий для комфортного отдыха [2], в пунктах материально-технического обеспечения вне национальной территории.

Аналогичный подъем заболеваемости в морских походах ДПЛ в период экономического кризиса в стране в 1990-х годах был связан с неудовлетворительным снабжением экипажей по всем видам обеспечения, техническим состоянием систем жизнеобеспечения (лодки планово не ремонтировались), скудным ассортиментом продовольствия с минимальным процентом свежей номенклатуры. Основной объем продовольствия перед выходом в море выдавали консервами (от 50 до 80 % в потребности свежего мяса и рыбы), снабжение свежими овощами и фруктами носило выраженную сезонную зависимость. Это не компенсировалось качественными витаминными продуктами и препаратами. В этот же период, по причине социально-экономических проблем в стране и низкой мотивацией к службе у подводников, экипажи ПЛА и ДПЛ имели существенный некомплект личного состава (матросы и старшины, проходившие службу по контракту, мичманы и офицеры увольнялись из-за неудовлетворительного материального и финансового обеспечения, отсутствия какой-либо дальнейшей служебной перспективы, не выполнялись в полном объеме социальные обязательства по отношению к военнослужащим и членам их семей), что привело к чрезвычайно

Уровень и структура первичной заболеваемости членов экипажей ПЛ в длительных морских походах

Класс заболеваний	Первичная заболеваемость	
	уровень, в ‰ ИПЗ	структура, в %
I класс	30,36	2,6
II класс	-	-
III класс	-	-
IV класс	-	-
V класс	-	-
VI класс	28,19	2,4
VII класс	65,06	5,6
VIII класс	23,86	2,1
IX класс	21,69	1,9
X класс	355,68	30,7
XI класс	177,84	15,3
XII класс	173,50	15,0
XIII класс	123,62	10,7
XIV класс	15,18	1,3
XVII класс	-	-
XVIII класс	47,71	4,1
XIX класс	97,60	8,4
Всего	1160,31	100

напряженным условиям службы командиров боевой части корабля, подводников редких специальностей, что было более свойственно экипажам ДПЛ.

Положительную роль в последние годы в улучшении здоровья подводников сыграла полная укомплектованность экипажей подводных лодок и повышение мотивации к служебной деятельности, как результат существенного роста денежного содержания моряков с 2011 г., а также радикальным улучшением качества всех основных видов тылового обеспечения, произошедшим в 2005–2006 гг.

По данным многолетних наблюдений ведущее место в структуре заболеваемости военнослужащих, проходящих службу по контракту в экипажах подводных лодок, в период дальних морских походов являются заболевания органов дыхания, далее следуют заболевания кожи и подкожной клетчатки, заболевания органов пищеварения. Подобная статистика наблюдается и последние 5 лет (таблица).

Болезни органов дыхания, которые формируют до одной трети X класса, представлены простудными заболеваниями, а также острым тонзиллитом 28,19 ‰ ИПЗ и острым бронхитом – 15,18 ‰ ИПЗ. Хирургическая активность по поводу острой абдоминальной патологии находилась на уровне 4,34 ‰ ИПЗ.

Некоторые подводники состоят под диспансерным динамическим наблюдением (ДДН) по причине перенесенного острого заболевания или наличия заболевания с хроническим течением, не препятствующего прохождению службы в плавсоставе и

выполнению задач в море. Распространенность подобных диспансерных моряков в экипажах ПЛА составляет среди офицерского и мичманского состава 146,4 ‰, у матросов и старшин, проходящих службу по контракту – 59,11 ‰. В составе экипажей ДПЛ присутствуют лица, находящиеся под ДДН, но их уровень ниже 66,1 и 47,3 ‰ соответственно. Подобные различия объясняются возрастным составом офицеров и мичманов в экипажах ПЛА.

Так, в экипажах ПЛА до одной трети составляют лица, состоящие под ДДН после перенесенных острых болезней органов дыхания (класс X), на 2-м месте – XI класс (заболевания органов пищеварения), затем следуют болезни костно-мышечной системы (преимущественно начальные явления остеохондроза), болезни системы кровообращения, характеризующиеся повышением кровяного давления (IX класс). А в экипажах ДПЛ ведущий – XI класс, а также симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях, не классифицированные в других рубриках (XVIII класс).

Случаи ДДН в экипажах ПЛ по IV классу – это алиментарно-конституциональное ожирение у подводников (около 5 % в экипажах ПЛА, а в экипажах ДПЛ: 9,1 % среди матросов и старшин, проходящих службу по контракту, и у 16,5 % – офицеров и мичманов).

Некоторые подводники, из числа состоящих по ДДН, входили в состав экипажей кораблей, совершивших морские походы. Общий уровень их в

составе экипажей составил 355,7 ‰ ИПЗ, где ведущими в структуре были: 48,8 ‰ – XI класс, 15,9 ‰ – XVIII класс, 11,6 ‰ – XIII класс, 5,5 ‰ – IV класс.

Сложившиеся в последние годы уровень и структуру первичной заболеваемости подводников в длительных морских походах следует считать приемлемыми и в соответствии с ней просчитывать риски и планировать лечебно-профилактические мероприятия.

Отдельного внимания заслуживает лишь группа 1 класса XI («болезни полости рта, слюнных желез и челюстей»), которая по материалам отчетов составляет 117,12 ‰ ИПЗ, представлена осложненным кариесом зубов, что сопоставимо с 9,2 ‰ уровня первичной заболеваемости. Несмотря на низкий уровень риска подобной патологии в морском походе – 1,2 ‰ вероятности от численности экипажа, лечение зубов в амбулатории подводной лодки затруднительно из-за отсутствия профильного оборудования, а также стоматологической квалификации у врача экипажа.

Причина этой вполне решаемой в пункте базирования проблемы, в незавершенности санирования зубов у подводников, которая связана как с объективными, так и субъективными причинами [4]. Во-первых, в результате проведенных реформ были ликвидированы военные должности стоматологов, а также ликвидированы подвижные стоматологические кабинеты, позволявшие приблизить стоматологическое пособие, в том числе в гарнизоны, где существуют проблемы с укомплектованием штатных стоматологических кабинетов. Во-вторых, с отсутствием настойчивости со стороны самих моряков в завершении санации.

Сложилась «хроническая» проблема, требующая принятия радикального решения. При прохождении ежегодного освидетельствования некоторым подводникам указывается на необходимость проведения санации. Однако эта рекомендация часто до очередного прохождения освидетельствования не выполняется. Тем самым постоянно поддерживается очаг хронической инфекции и потенциальная проблема необходимости оказания стоматологической помощи начальником медицинской службы корабля в море.

Мы проанализировали эту ситуацию по одному боевому соединению атомных подводных лодок, базирующихся в Заполярье. За последние 3 года не было санировано из числа нуждающихся в межкомиссионный период (офицеры/неофицерский состав (мичманы, матросы и старшины контракта)): в 2008 г. – 21,1 ‰/30,6 ‰, в 2009 г. – 2,0 ‰/27,9 ‰, в 2010 г. – 13,6 ‰/11,4 ‰, в 2011 г. – 11,4 ‰/10,4 ‰, в 2012 г. – 9,9 ‰/13,2 ‰, в 2013 г. – 9,7 ‰/11,3 ‰. Несмотря на то что формально планы санации составляются, они практически не выполняются, так как сроки их утверждения по

действующим документам предшествуют утверждению основного плана применения самого экипажа.

В работе [1] представлены данные общей заболеваемости экипажей подводных лодок в период морских походов. На их основе рассмотрены нормы потребности в медицинском имуществе, выдаваемом на боевую службу корабля в отдаленных районах Мирового океана. Анализ публикаций на эту тему и результаты собственных исследований показывают существенное отличие рассчитанного общего уровня заболеваемости экипажей подводных лодок с представленным (250–350 ‰) в работе [1].

Выводы

1. Ведущими в структуре первичной заболеваемости у подводников в длительных морских походах являются: болезни органов дыхания (класс X), заболевания органов пищеварения (XI класс), болезни кожи и подкожной клетчатки (XII класс).
2. При прохождении военно-врачебной экспертизы военнослужащими, проходящими службу в плавающем составе ВМФ, необходимо особое внимание уделять излеченности стоматологических заболеваний.

Список литературы

1. Горячев А.Б., Добровольский А.В., Соболенко А.К. Структурно-логический анализ исходных данных для разработки нормативов потребности в медицинском имуществе кораблей Военно-морского флота // Воен.-мед. журн. 2012. № 6. С. 73–76.
Goryachev A.B., Dobrovolskiy A.V., Sobolenko A.K. Structural and logical analysis of the initial data for the development of standards for medical equipment needs of naval ships // Voennomeditsinskiy zhurnal. 2012. № 6. P. 73–76.
2. Довгуша В.В., Мызников И.Л. Отдых на этапах учебно-боевой деятельности подводников: Пособие для врачей ВМФ. 2-е изд. СПб., 2010.
Dovgusha V.V., Myznikov I.L. Rest on the stages of submariners' training and combat activities: A manual for physicians. 2nd ed. St. Petersburg, 2010.
3. Довгуша В.В., Мызников И.Л., Шалабодов С.А., Бумай О.К. Медико-физиологические особенности боевой подготовки экипажей атомной подводной лодки // Воен.-мед. журн. 2009. № 10. С. 46–53.
Dovgusha V.V., Myznikov I.L., Shalabodov S.A., Bumay O.K. Medical and physiological characteristics of combat training of nuclear-power submarine crews // Voennomeditsinskiy zhurnal. 2009. № 10. P. 46–53.
4. Хамидуллина А.Я. Возрастные особенности состояния здоровья зубов у подводников // Медицинское обеспечение сил флота в условиях Кольского Заполярья: Мат. VI НПК медслужбы СФ, (29–30 ноября 2011 г., Североморск) / Ю.Р. Ханкевич, А.Г. Шевченко, И.Л. Мызников, ред. Мурманск, 2011. С. 66–67.

Khamidullina A.Ya. Age features of a state of teeth health in submariners // Medical maintenance of naval forces in the Kola Arctic region: Abstracts of VI scientific and practical conference of the Northern fleet Medical service of (29–30 November, 2011, Severomorsk) / Yu.R. Khankevich, A.G. Shevchenko, I.L. Myznikov, eds. Murmansk, 2011. P. 66–67.

Поступила 24.02.2015

MORBIDITY OF SUBMARINE CREW SAILORS IN LONG-DISTANCE CRUISES

Myznikov I.L., Burtsev N.N., Bondarenko N.V., Khamidullina A.Ya.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2015. V. 49. № 4. P. 42–46

Morbidity among the personnel of a Kola-based (beyond the Arctic circle) atomic (ASM) and diesel-powered (DSM) submarines in the course of long-distance cruises in different waters of the world ocean was studied. Statistics was collected from the reports of submarine medical officers since 1969.

Levels and causes of morbidity were analyzed. According to the data of many years' observations, within the structure of primary diseases of military contractors on cruises the leading place has been occupied by respiratory disorders followed by skin and subcutaneous fat problems, and digestive diseases. Incidence of chronic diseases among ASM and DSM personnel was evaluated.

The authors raise the issue of dental care quality provided to submariners.

Key words: marine medicine, submariners, morbidity, Kola region beyond the Arctic circle, closed ecological system.

УДК 577.3

К ВОПРОСУ О РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА НА ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ

Стерликова И.В.

Московский психолого-социальный университет, филиал, г. Муром, Владимирская область
E-mail: sterlikova@mail.ru

Цель работы – проверка концепции о существовании гелиобиологической связи в среднеширотном регионе Земли на примере анализа частоты обострений заболеваний системы кровообращения, психических расстройств и расстройств поведения, а также заболевания органов дыхания – бронхиальной астмы. Субъектом и объектом экспериментально-статистического исследования являются жители г. Мурома Владимирской области, среднеширотного геомагнитного региона $\Phi \approx 53^\circ$. Исходный материал для исследования: медицинские данные станции «Скорой помощи» в г. Муроме и геофизические данные геомагнитной обсерватории Борок, Ярославской области. Временной интервал наблюдений – 3 года (с февраля 1985 г. по декабрь 1987 г.) – совпадает с подъемом солнечной активности в ее 11-летнем цикле. Наибольшее число вызовов скорой медицинской помощи по поводу обострений заболеваний системы кровообращения, психических расстройств и расстройств поведения, болезней органов дыхания (в частности, бронхиальной астмы) и их летальных исходов приходилось на моменты длительного отсутствия высокочастотных геомагнитных пульсаций в частотном диапазоне биоритмов человека.

Ключевые слова: геомагнитная обстановка, солнечно-биологические связи, магнитные бури, геомагнитные пульсации, обострения заболеваний системы кровообращения, психических расстройств и расстройств поведения, органов дыхания, летальные исходы.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2015. Т. 49. № 4. С. 47–53.

Общепризнано, что человек и внешняя среда, понятие которой расширилось до необъятного космического пространства, – две взаимодействующие системы. Понять механизм их взаимодействия, чтобы найти новые способы лечения болезней, защиты от естественной, зачастую губительной радиации Солнца – сложная и актуальная задача. От ее решения могут в какой-то мере зависеть качество жизни, долголетие, особенности реакций космонавтов при пилотируемых полетах к другим планетам. Серьезное изучение проблемы гелиобиологических связей впервые было предпринято А.Л. Чижевским [1] в 30-х годах XX века. Интерес к этой проблеме возрос в 1960-х годах в связи с освоением космоса [2, 3]. В последующие годы изучение

биотропных проявлений солнечной активности носило характер количественного накопления информации. Ценным является опыт реализации программы систематических синхронных исследований по унифицированным методикам «Глобэкс-80» в период активного Солнца [4]. Однако результаты эксперимента оказались противоречивыми, особенно на широте Москвы, требующими проверки и уточнения. Начало XXI столетия отмечено новым витком научного интереса к проблеме гелиобиологических связей [5–11]. В течение 2003–2010 гг. на разных широтах (Москва, Киев, Якутск, Иркутск, Симферополь, Саратов) по единому протоколу синхронно на однотипном оборудовании выполнялся телекоммуникационный гелиомедицинский эксперимент «Гелиомед» [10, 11]. Методика анализа полученного материала сводилась к математической обработке длинных рядов медицинской и гелиогеофизической информации с применением стохастических моделей. При этом установлены групповые эффекты отклонений усредненных физиологических параметров человека при измерении ЭКГ, наблюдавшиеся одновременно во всех городах при резких вариациях космофизических факторов [11]. Однако в ходе эксперимента «Гелиомед» не удалось установить какой-либо закономерности между групповыми эффектами обострения болезней и космофизическими факторами. Авторы пришли к выводу, что человеческий организм следует рассматривать как существенно нелинейную динамическую систему, описание которой, по всей видимости, более соответствует квантовой динамике и выдвинули идею построения новой теоретической модели обработки экспериментального материала. В настоящее время проблема изучения геосферно-биосферных связей и смежных с ними вопросов индивидуальной резистентности организма к солнечным и галактическим ионизирующим излучениям [12–14] приобрели еще большую значимость из-за планируемого в ближайшие десятилетия пилотируемого полета к Марсу [9, 15].

Целью работы является проверка концепции А.Л. Чижевского о гелиобиологической связи в среднеширотном регионе Земли на примере анализа частоты обострений заболеваний системы

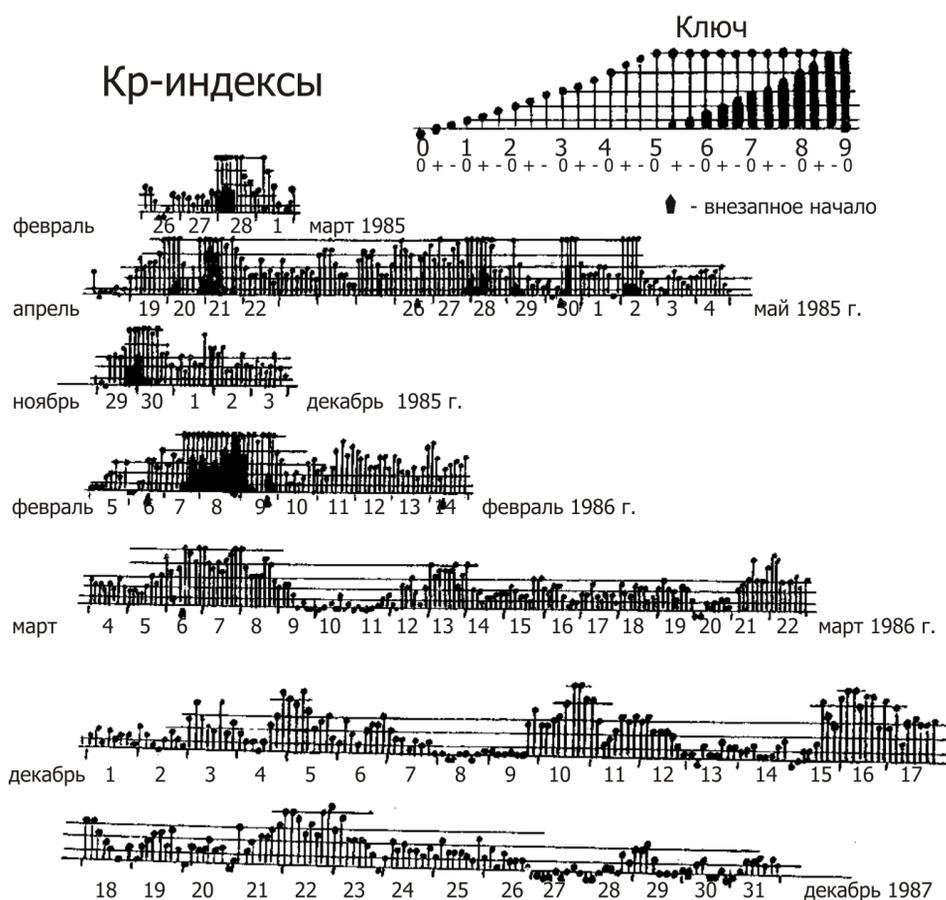


Рис. 1. Сведения о трехчасовом планетарном Кр-индексе магнитной активности

кровообращения, психических расстройств и расстройств поведения, а также заболевания органов дыхания – бронхиальной астмы.

Методика

Исходным материалом служили медицинские данные станции «Скорой помощи» г. Муром, Владимирской области, геофизические данные геомагнитной обсерватории Борок, Ярославской области и Мирового центра данных. Временной интервал наблюдений составлял 3 года – с 1985 по 1987 г. Эти годы ассоциируются с подъемом солнечной активности в 11-летнем цикле, начавшемся в 1985 г., и достигшим своего максимума в 1989 г. Оба пункта – Муром и Борок – расположены приблизительно на одном геомагнитном меридиане 111°, проходящем через Карелию и Скандинавию, и имеют приблизительно одинаковую геомагнитную широту 53°. Данные станции «Скорой помощи» содержали регистрацию времени вызова скорой помощи по поводу обострения заболеваний 3 классов: системы кровообращения, психических расстройств и расстройств поведения, органов дыхания.

Геофизическая информация включала: 1) сведения о магнитных бурях (времени начала магнитной бури, продолжительности бури и типе бури – рекуррентная или вспышечная); 2) сведения об индексах геомагнитной активности, осредненных за разные временные интервалы: 15 мин (Q -индекс), 3 ч (K_p -индекс), суммарные (A_p -индекс); 3) записи геомагнитных пульсаций; 4) сведения о наличии или отсутствии хромосферных вспышек (информация Мирового центра данных).

Медицинские данные анализировали в 3 временных промежутках: перед магнитной бурей, в течение магнитной бури и после магнитной бури. Тонкой структурой магнитных бурь являются геомагнитные пульсации. Среди многообразия геомагнитных пульсаций были выбраны те, периоды которых близки к основным биоритмам человека. Частота колебаний сердечной мышцы порядка 1 Гц, частота колебаний давления 0,1 Гц, биоритмы головного мозга α β γ δ θ σ имеют частоты от 0,2 до 100 Гц.

Анализируемые данные включали иррегулярные колебания НЧ- и ВЧ-диапазонов, сопровождающие все 3 фазы протекания магнитной суббури, а также регулярные колебания Pс1. Рассмотрены магнитные бури

Таблица 1

Число обострений заболеваний в периоды наличия или отсутствия геомагнитных пульсаций

Дата, тип магнитной бури, характеристика бури	Геомагнитные пульсации		Заболевания системы кровообращения				Психические расстройства и расстройства поведения		Заболевания органов дыхания
	В момент вызова «Скорой помощи»	В течение 6 час. перед вызовом «Скорой помощи»	Хроническая ишемическая болезнь сердца (I 25.9)	Гипертензия (I 13.9)	Стенокардия (I 20.9)	Инфаркт миокарда (I 21.9)	Неврастения (F 48.0)	Шизофрения (F 20)	Бронхиальная астма (J 45)
с 25.02.1985 по 1.03.1985 г. буря рекуррентная Кр max = 7 _{0r} $\Delta t = 12$ ч	нет	нет	16	11	2	1	14	1	8
	нет	Pc1	5	6	0	0	6	0	1
	Pc1	Pc1	1	0	0	0	0	0	0
	нет	Pi1C	0	1	0	0	0	0	0
с 5.02.1986 по 14.02.1986 г. вспышечная буря Кр max = 9 _{0r} $\Delta t = 60$ ч	нет	нет	11	18	1	0	24	1	8
	нет	Pc1	14	10	0	0	8	0	3
	Pc1	Pc1	3	4	1	0	4	0	0
	нет	IPDP	0	0	1	0	0	0	0
	Pi1B	Pc1	1	0	0	0	0	0	0
нет	Pi1C	0	3	0	0	3	0	0	
с 4.03.1986 по 22.03.1986 г. нет бурь, умеренная геомагнитная активность Кр = 0–4	нет	нет	54	0	0	0	8	2	0
	нет	Pc1	17	0	0	0	1	1	0
	Pc1	Pc1	4	0	0	0	0	0	0
	нет	IPDP	3	0	0	0	0	0	0
	нет	Pi1C	0	0	0	0	1	0	0
с 18.04.1985 по 4.05.1985 г. 6 вспышечных бурь Кр max = 8 _r $\Delta t = 6–21$ ч каждая	нет	нет	17	24	0	0	20	0	16
	нет	Pc1	10	19	0	0	8	0	8
	Pc1	Pc1	2	10	0	0	4	0	0
	нет	IPDP	4	2	0	0	5	0	0
	IPDP	IPDP	2	0	0	0	0	0	0
	Pi1B	Pi1B	0	3	0	0	0	0	0
нет	Pi1C	5	6	0	0	0	0	0	
с 29.11.1985 по 3.12.1985 вспышечная буря Кр max = 7 _r $\Delta t = 18$ ч	нет	нет	9	6	0	0	17	0	2
	нет	Pc1	5	5	0	0	5	0	4
	Pc1	Pc1	4	0	0	0	9	0	0
	нет	IPDP	1	0	0	0	2	0	0
	IPDP	IPDP	1	1	0	0	1	0	0
с 1.12.1987 по 31.12.1987 Умеренная геомагнитная активность, нет бурь Кр = 0–4	нет	нет	159	297	29	4	46	14	34
	нет	Pc1	88	93	2	0	21	7	12
	Pc1	Pc1	5	11	0	0	4	0	0
	нет	Pi1B	10	25	0	0	3	0	3
	нет	Pi1C	2	2	0	0	0	0	0
	нет	IPDP	8	7	0	1	1	0	1
	IPDP	IPDP	7	5	0	1	1	0	1

Число случаев скоропостижной смерти в периоды наличия или отсутствия геомагнитных пульсаций

Дата	Геомагнитные пульсации		Заболевания системы кровообращения						Психические расстройства и расстройства поведения
	В момент вызова «Скорой помощи»	В течение 6 ч, предшествовавших вызову «Скорой помощи»	Хроническая ишемическая болезнь сердца (I 25.9)	Гипертензия (I 13.9)	Стенокардия (I 20.9)	Инфаркт миокарда (I 22.9)	Инсульт (I 64)	Сердечно-сосудистая недостаточность (I 50)	Шизофрения (F 20)
с 1.03.1985 по 31.03.1985 г.	нет	нет	3	1	0	0	0	1	5
	IPDP	IPDP	0	0	0	0	0	0	1
	Pc1	Pc1	0	0	0	1	0	0	0
	Pc1	нет	1	0	0	0	0	0	0
с 1.01.1987 по 31.01.1987 г.	нет	нет	0	0	0	5	0	0	0
	Pi1C	Pc1	0	0	0	1	0	0	0
с 1.02.87 по 28.02.1987 г.	нет	нет	0	0	1	8	3	0	0
	нет	Pc1	0	0	0	0	1	0	0
с 1.12.1987 по 31.12.1987 г.	нет	нет	5	0	0	0	5	0	2
	нет	Pc1	2	0	1	0	0	0	1
	Pc1	Pc1	1	0	0	0	0	0	0
	нет	Pi1C	1	0	0	0	0	0	1
	Pi1C	Pi1C	0	0	0	0	1	0	0

рекуррентного и вспышечного характеров. Магнитная буря в феврале 1985 г. имела рекуррентный характер, то есть хромосферных вспышек на Солнце не наблюдалось. Выброс плазмы солнечного ветра происходил из корональных дыр, планета Земля при этом пересекала гелиосферный токовый слой.

В противовес рекуррентной буре были рассмотрены вспышечные магнитные бури. Чтобы не нарушать сезонность явления, данные об одной из них взяли за тот же месяц, но в 1986 г. Другие вспышечные бури имели место весной и осенью 1985 г. (апрель – май, ноябрь – декабрь). Наряду с этим, были рассмотрены длительные промежутки (месяц и более) времени, соответствующие умеренной и низкой геомагнитной активности, при которой магнитных бурь не наблюдалось (весна 1986 г. и зима 1987 г.). Сведения о планетарном магнитном K_p -индексе приведены на рис. 1, что позволяет косвенно судить о начале и конце суббури, более точные данные брали из анализа нормальных магнитограмм.

Анализ медицинской информации о количестве обращений на станцию «Скорой помощи» по поводу обострений заболеваний и летальных исходов

проводили в 3 классах заболеваний согласно современной международной классификации болезней МКБ-10: в классе заболеваний системы кровообращения – для хронической ишемической болезни сердца (I25.9), для гипертензии (I13.9), стенокардии (I20.9), инфаркта миокарда (I21.9, I22.9), инсульта (I64), сердечно-сосудистой недостаточности (I50); в классе психических расстройств и расстройств поведения – для неврастении (F48) и шизофрении (F20); в классе заболеваний органов дыхания – для бронхиальной астмы (J 45).

Результаты и обсуждение

Для отдельных разновидностей заболеваний в табл. 1 представлены сведения о числе их обострений в периоды отсутствия или наличия ВЧ геомагнитных пульсаций диапазона биоритмов человека. Рассмотрены геомагнитные пульсации типов Pc1, Pi1C, Pi1B, IPDP в момент вызова «Скорой помощи» и за предшествовавшие 6 ч. Шестичасовой временной интервал является временем инерционности плазмпозаузы (границы плазмосферы). Число обращений пациентов за помощью резко возросло

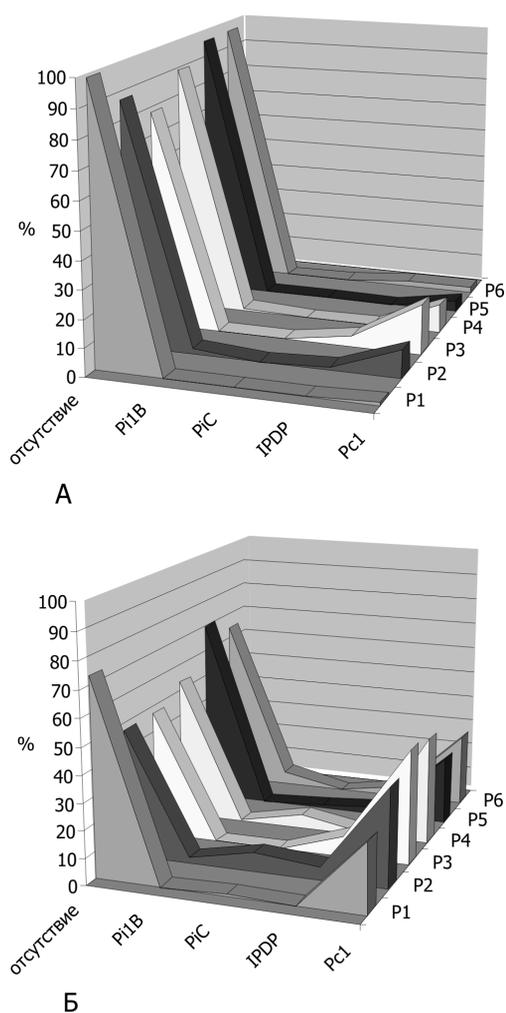


Рис. 2. Частота обострений заболеваний в зависимости от геофизической обстановки: А – в момент вызова «Скорой помощи»; Б – в течение 6-часового интервала до вызова «Скорой помощи».

По оси ординат – доля обострений от общего количества (%); по оси абсцисс – отсутствие и наличие генерации указанных типов геомагнитных пульсаций.

Сроки наблюдений: 1-й ряд – с 25.02.1985 по 1.03.1985 г.; 2-й ряд – с 18.04.1985 по 4.05.1985 г.; 3-й ряд – с 29.11.1985 по 3.12.1985 г.; 4-й ряд – с 5.02.1986 по 14.02.1986 г.; 5-й ряд – с 4.03.1986 по 22.03.1986 г.; 6-й ряд – с 1.12.1987 по 31.12.1987 г.

по мере увеличения длительности отсутствия ВЧ геомагнитных пульсаций в среде обитания человека. Так, в промежуток времени, соответствующий рекуррентной буре длительностью 12 ч при $Kp_{max} = 7_0$, при продолжительной (свыше 6 ч) генерации геомагнитных пульсаций типа Pc1 (в том числе в момент вызова «Скорой помощи»), за помощью по поводу обострения хронической ишемической болезни сердца обратился 1 человек. При более кратковременной генерации геомагнитных пульсаций Pc1, прекратившейся в момент вызова

«Скорой помощи», число обращений достигло 5. В период полного отсутствия генерации ВЧ геомагнитных пульсаций всех указанных типов более 6 ч за помощью в связи с обострением хронической ишемической болезни сердца обратились 16 человек. Аналогичная картина по частоте заболеваний прослеживалась при вспышечных магнитных бурях весной (18.04–4.05.) и осенью (29.11–3.12.) 1985 г. Еще более значительный рост обострений заболеваний с той же закономерностью наблюдался при отсутствии магнитных бурь при низкой геомагнитной активности (например, весной с 4.03.1986 по 22.03.1986 г. и зимой с 1.12.1987 по 31.12.1987 г.). Данные, представленные в табл. 2, демонстрируют, что максимальное число летальных исходов от рассмотренных заболеваний приходилось на промежутки времени с длительным отсутствием генерации ВЧ геомагнитных пульсаций (свыше 6 ч). Для сравнения в табл. 2 представлены временные отрезки с различной магнитной активностью. Март 1985 г. характеризовался высокой геомагнитной активностью (индекс Kp порядка 5–6), январь и февраль 1987 г. – низкой геомагнитной активностью (Kp порядка 0–2), декабрь 1987 г. – умеренной геомагнитной активностью (Kp порядка 0–4).

На рис. 2, А представлены данные о частоте обострений заболеваний в соответствии с геофизическими сведениями непосредственно в момент вызова «Скорой помощи». На рис. 2, Б содержится интерпретация тех же данных в привязке к геофизической информации о бурях и пульсациях, имевших место в течение 6-часового промежутка времени, предшествующего вызову «Скорой помощи», необходимого для перестройки плазмосферы (точнее, ее границы – плазмопаузы) в связи с процессами на Солнце. На обоих рисунках отчетливо виден максимум приступов заболеваний при полном отсутствии генерации ВЧ геомагнитных пульсаций. В моменты генерации геомагнитных пульсаций Pi1B, Pi1C и IPDP, сопровождающих фазы развития и восстановления магнитной суббури, обострений заболеваний практически не наблюдается. На рис. 2, Б равнозначно прослеживаются 2 максимума, второй из них имеет временную привязку к геомагнитным пульсациям типа Pc1 (так называемым жемчужинам), генерация которых хоть и имела место, но была непродолжительной.

Тот факт, что при длительном отсутствии ВЧ геомагнитных пульсаций в большинстве случаев наблюдалась внезапная смертность от заболеваний системы кровообращения и психических расстройств (см. табл. 2) можно интерпретировать как временное отключение источника энергии. Наличие ВЧ геомагнитных пульсаций полностью не исключало обращение пациентов по поводу обострений заболеваний системы кровообращения, психических расстройств и расстройств поведения. Однако число вызовов «Скорой помощи» в эти промежутки времени было

гораздо меньше, чем при полном отсутствии геомагнитных пульсаций в среде обитания человека.

Выводы

1. Реакция организма человека на изменение геомагнитной обстановки в среднеширотном регионе Земли проявляется в форме обострений ряда заболеваний системы кровообращения, психических расстройств и расстройств поведения, а также бронхиальной астмы, причем эти обострения наблюдаются в периоды длительного отсутствия геомагнитных пульсаций в частотном диапазоне, близком к биоритмам человека.

2. При длительном отсутствии геомагнитных пульсаций установлено увеличение частоты летальных исходов от заболеваний системы кровообращения и психических расстройств.

3. При межпланетных перелетах после выхода космического корабля из зоны действия гео- и гелиомагнитных полей может потребоваться периодическое искусственное воздействие на космонавтов электромагнитными полями в диапазонах частот и мощностей, близких к биоритмам человека для предотвращения у членов экипажа расстройств со стороны сердечно-сосудистой системы и психики.

Список литературы

1. Чижевский А.Л. Эпидемические катастрофы и периодическая деятельность Солнца. М., 1930.

Chizhevskiy A.L. Epidemic accidents and periodic activity of the Sun. Moscow, 1930.

2. Владимирский Б.М. О возможных факторах солнечной активности, влияющих на процессы в биосфере // Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли / М.Н. Гневышев, А.И. Оль, ред. М., 1971. С. 126–140.

Vladimirskiy B.M. About the possible factors of solar activity influencing processes in biosphere // Influence of solar activity on atmosphere and biosphere of the Earth / M.N. Gnevyshev, A.I. Ol, eds. Moscow, 1971. P. 126–140.

3. Новикова К.Ф., Рывкин Б.А. Солнечная активность и сердечно-сосудистые заболевания // Там же. С. 164–178.

Novikova K.F., Ryvkin B.A. Solar activity and cardiovascular diseases // Ibid. P. 164–178.

4. Комаров Ф.И., Рапопорт С.И., Бреус Т.К., Иванова С.В. Солнечно-биосферные связи, биоритмы и некоторые вопросы внутренней медицины (методологические аспекты) // Терапевтический архив. 1985. № 3. С. 149–153.

Komarov F.I., Rapoport S.I., Breus T.K., Ivanova S.V. Solar and biospheric communications, biorhythms and some questions of internal medicine (methodological aspects) // Terapevticheskiy arkhiv. 1985. № 3. P. 149–153.

5. Гамбурцев А.Г., Сигачев А.В. Динамика вызовов скорой помощи Москвы за последние пять лет // Вестн. РАН. 2012. Т. 82. № 5. С. 415–424.

Gamburtsev A.G., Sigachev A.V. Dynamics of calls of first aid in Moscow for last five years // Vestnik Rossiyskoy akademii nauk. 2012. V. 82. № 5. P. 415–424.

6. Черешнев В.А., Гамбурцев А.Г., Сигачев А.В. Атлас временных вариаций. Динамика вызовов скорой помощи Москвы за последние пять лет // Здоровье семьи 21 век. 2012. № 2. С. 1–41.

Chereshnev V.A., Gamburtsev A.G., Sigachev A.V. Atlas of time variations. Dynamics of calls of first aid in Moscow for last five years // Zdorov'e sem'i 21 vek. 2012. № 2. P. 1–41.

7. Черешнев В.А., Гамбурцев А.Г., Сигачев А.В. Динамика биосферных процессов и ее отражение в структуре вызовов скорой помощи // Человек. 2012. № 4. С. 71–81.

Chereshnev V.A., Gamburtsev A.G., Sigachev A.V. Dynamics of biospheric processes and its reflexion in structure of calls of first aid // Chelovek. 2012. № 4. P. 71–81.

8. Гамбурцев А.Г., Тарко А.М. Общие и особенные черты динамики процессов в природе и обществе // Пространство и время. 2012. № 2. С. 54–64.

Gamburtsev A.G., Tarko A.M. Common and special features of dynamics of processes in the nature and a society // Prostranstvo i vremya. 2012. № 2. P. 54–64.

9. Коваленок В.В., Авакян С.В., Боровкова О.К., Воронин Н.А. Космический солнечный патруль и некоторые проблемы пилотируемого полета к Марсу // Оптический журн. 2005. Т. 72. № 8. С. 49–53.

Kovalenok V.V., Avakyan S.V., Borovkova O.K., Voronin N.A. Space solar patrol and some problems of piloted flight to Mars // Opticheskiy zhurnal. 2005. V. 72. № 8. P. 49–53.

10. Биотропное воздействие космической погоды (по материалам российско-украинского мониторинга «Гелиомед» 2003–2010 гг.) / М.В. Рагульская, ред. М., Киев – СПб. 2010.

Biotropic influence of space weather (on materials of the Russian-Ukrainian «Geliomed» monitoring in 2003–2010) / M.V. Ragul'skaya, ed. Moscow, Kiev – St. Petersburg, 2010.

11. Вишневский В.В., Сычев А.С., Рагульская М.В., Чибисов С.М. Космофизические факторы как регулятор индивидуальных и популяционных программ адаптации сердца человека // Фундаментальные исследования. 2011. № 7. С. 36–42.

Vishnevskiy V.V., Sychev A.S., Ragul'skaya M.V., Chibisov S.M. Cosmophysical factors as a regulator of individual programs and of population programs of adaptation of a person's heart // Fundamentalnye issledovaniya. 2011. № 7. P. 36–42.

12. Иванов И.В., Даренская Н.Г., Ушаков И.В. The initial individual reactivity and peculiarities of the organism reaction to irradiation in small doses // Abstracts 4th International Conference «Biological Basis of Individual Sensitivity to Psychotropic Drugs» (March 13–16, 2006, Moscow, Russia). Moscow, P. 109.

13. Иванов И.В. Исходная реактивность организма и радиационные воздействия в малых дозах. М., 2010.

Ivanov I.V. Initial reactivity of organism and radiation effects in small doses. Moscow, 2010.

14. Даренская Н.Г., Иванов И.В., Короткевич А.О. Динамика проявлений неспецифической реактивности организма во времени // Авиакосм. и экол. мед. 2000. Т. 34. № 6. С. 12–16.

Darenskaya N.G., Ivanov I.V., Korotkevich A.O. Dynamics of the non-specific reactivity of the organism in time // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2000. V. 34. № 6. P. 12–16.

15. Kovalenok V.V., Avakyan S.V., Voronin N.A. et al. On the unexplored biophysical problem of manned flight to Mars // Proceedings of the 10th Int. Conf. «Problems of Geocosmos» (Oct. 6–10, 2014, St. Petersburg, Russia). St. Petersburg, P. 322–327.

Поступила 04.07.2014

ON HUMAN BODY REACTION TO A CHANGED GEOMAGNETIC BACKGROUND

Sterlikova I.V.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2015. V. 49. № 4. P. 47–53

Purpose of the work was to test the concept about existence of a heliobiological relation in the Earth's middle-latitude region for which to analyze, as an example, frequency of circulatory disease exacerbation, mental and behavior disorders, and respiratory diseases (bronchial asthma). The subject and object of the experimental statistic survey have been dwellers of city of Murom (Vladimir region) located in middle-latitude geomagnetic region $\Phi \approx 53^\circ$. The source material in the investigation was medical data of the Murom ambulance service and geophysical data of the Borok geomagnetic observatory (Yaroslavl region). The survey went on 3 years from February, 1985 till December, 1987 and coincided with the rise of the 11th solar cycle. The largest number of calls to the ambulance service due to acute circulatory condition, mental or behavior disorders, respiratory diseases (bronchial asthma particularly) and their fatal outcome fell on periods of long absence of high-frequency geomagnetic pulsation within the frequency range of human biorhythms.

Key words: geomagnetic background, heliobiological relations, magnetic storms, geomagnetic pulsation, exacerbation of circulatory diseases, mental and behavior disorders, respiratory problems, lethal outcomes.

ДИСКУССИИ

УДК 613.693+001.891.57+612.14[612.82+612.842]

К ВОПРОСУ О ВНУТРИЧЕРЕПНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ У АСТРОНАВТОВ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ НЕВЕСОМОСТИ

Богомолов В.В.¹, Кузьмин М.П.¹, Даниличев С.Н.²

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

²Научно-исследовательский институт «Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина», Звездный городок, Московская область

E-mail: vvb@imbp.ru

Из источников литературы [1–3] стало известно, что американские специалисты по космической медицине наблюдали идиопатическую внутричерепную гипертензию у 5 астронавтов после длительных (до 6 мес) космических полетов (КП) на Международной космической станции (МКС). При этом отмечалось нарушение зрительных функций, центральные скотомы, хориоидальные складки, белые хлопья на сетчатке и отек диска зрительного нерва, изменения формы глазного яблока (уплощение его заднего отдела), отек и расширение оболочки орбитального отрезка зрительного нерва. У 3 из них при спинно-мозговой пункции установлено повышение внутричерепного давления. Таких неврологических изменений у советских и российских космонавтов за всю историю пилотируемой космонавтики не наблюдалось, даже после самого длительного (около полутора лет) полета.

В неврологической литературе под термином «идиопатическая внутричерепная гипертензия» подразумеваются доброкачественная внутричерепная гипертензия (псевдотумор) головного мозга, внутричерепная гипертензия неясной этиологии. Она характеризуется повышением ликворного давления при отсутствии объемного образования в полости черепа, расширения желудочковой системы мозга, выраженных неврологических расстройств и изменений состава ликвора. Термины «идиопатическая» или «доброкачественная внутричерепная гипертензия» используются в зависимости от того, найдена или нет причина возникновения гипертензии. Идиопатическую внутричерепную гипертензию наблюдают чаще всего у женщин в возрасте 30–50 лет с избыточной массой тела, длительными эндокринными нарушениями в виде расстройств менструального цикла, реже – во время беременности и после родов. Выделяют также вторичную внутричерепную гипертензию, которая возникает у лиц с тромбозом синусов головного мозга, после перенесенных закрытых черепно-мозговых травм, воспалительных и инфекционных заболеваний или

вследствие приема лекарственных препаратов (антибиотиков, витамин А, лечение высокими дозами глюкокортикоидов и др. [4]. У таких пациентов может отмечаться значительное снижение зрительных функций. Отек сетчатки вокруг диска зрительного нерва сопровождается увеличением размеров слепого пятна, концентрическим сужением полей зрения преимущественно с носовой стороны, что может быть обусловлено как нарушением микроциркуляции в нервных волокнах, так и компрессией самих нервных волокон зрительного нерва в области склерального канала. Нарушения центрального зрения возникают, как правило, на стадии выраженных застойных дисков зрительного нерва и при развитии вторичной атрофии зрительного нерва.

Полость черепа и полость глаза являются физиологически тесно связанными между собой через ткани диска зрительного нерва и его оболочки [5]. Физиологическим барьером между полостью черепа и полостью глаза являются ткани зоны диска зрительного нерва. Сложнейшая артериовенозная архитектура этой зоны, своеобразная нейроструктурная организация и наличие жестких фиброзных образований в этом месте глазного яблока (решетчатая пластинка) дают возможность тканям сетчатки нормально функционировать, несмотря на значительные перепады давления между полостью черепа и полостью глаза. В норме субарахноидальное давление ликвора в зрительном нерве варьирует от 4 до 14 мм рт. ст. Анатомически хиазмальная цистерна мозга и оптический отросток желудочковой системы тесно связаны с оболочками зрительного нерва. Согласно обобщенным данным, у здорового человека в положении лежа ликворное давление в желудочках мозга составляет 70–80 мм вод. ст., а – в положении сидя в базальной цистерне оно уменьшается до 1–2 мм вод. ст. Давление ликвора в поясничной цистерне в положении лежа составляет 80–180 мм вод.ст., а в положении сидя оно повышается до 200–350 мм вод. ст.

Анализ результатов медицинских наблюдений во время и после первых кратковременных КП

показал, что наиболее важным эффектом невесомости у космонавтов является перераспределение жидких сред организма в краниальном направлении. Наибольший интерес офтальмологов вызывало влияние этого фактора на орган зрения, имеющий непосредственную связь с ликворной системой головного мозга, что позволяет обнаруживать ранние признаки повышения внутричерепного давления.

В 1964–1985 гг. в экспериментах с клиностатической и антиортостатической гипокинезией различной продолжительности с углом наклона головного конца тела -8° (АНОГ) у добровольцев проводились прямая офтальмоскопия и фотографирование глазного дна, определялся калибр сосудов сетчатки, измерялись диастолическое давление крови в центральной артерии сетчатки и внутриглазное давление.

В условиях 120-суточной АНОГ (-8°) отмечалось значительное увеличение диастолического давления крови в центральной артерии сетчатки глаза, калибра артерий и в большей степени калибра вен в течение первых 3 сут АНОГ. Затем наблюдалось некоторое уменьшение диастолического давления крови в центральной артерии сетчатки и калибра сосудов и далее, волнообразно изменяясь, эти показатели были выше исходного уровня до конца эксперимента. Наряду с этим отмечалось кратковременное (1–3 сут АНОГ) повышение внутриглазного давления до верхней границы нормы. При офтальмоскопии наблюдалось усиление светового рефлекса сетчатки и увеличение слепого пятна в поле зрения, что свидетельствовало о гипергидратации сетчатки и наличии перипапиллярного отека сетчатки и диска зрительного нерва. Динамика диастолического давления в центральной артерии сетчатки, калибра артерий и вен сетчатки в условиях АНОГ расценивалась как процесс адаптации сосудистой системы глаза к условиям перераспределения крови и других жидких сред в краниальном направлении [6].

В эксперименте с 60-суточной АНОГ (-8°) в сочетании с воздействием поперечно направленных перегрузок 6, 8 и 10 ед. наблюдались те же изменения сосудистой системы глаза, что и в 120-суточной АНОГ (-8°) с той лишь разницей, что воздействие перегрузок до и после эксперимента усиливало выраженность изменений сосудов сетчатки глаза.

В эксперименте с 365-суточной АНОГ (-8°) у добровольцев с использованием средств профилактики перераспределения крови в краниальном направлении, изменение сосудов сетчатки были менее выраженными по сравнению с контрольной группой. Таким образом, была показана эффективность примененных средств.

Наибольший интерес представляют уникальные эксперименты с зондированием правого предсердия и верхней луковичи яремной вены у добровольцев

в условиях перераспределения жидких сред в краниальном направлении [7].

10 здоровых мужчин-добровольцев (средний возраст 35 лет) из горизонтального положения на поворотном столе (0°) переводили в положение головой вверх, с углом наклона тела $+10^\circ$, $+30^\circ$, $+75^\circ$, затем возвращали в исходное положение и через 5–10 мин переводили в положение головой вниз, с углом наклона тела -10° , -30° , -75° . Длительность каждого наклона составляла 5 мин. В конце этого периода проводилась прямая офтальмоскопия, регистрировалось давление крови в яремной вене, измерялось диастолическое давление крови в центральной артерии сетчатки с помощью офтальмодинамометра, внутриглазное давление модифицированным тонометром Фика – Лифшица. Отмечалось понижение диастолического давления крови в центральной артерии сетчатки и внутриглазного давления при переходе в вертикальное положение. При антиортостатическом положении наблюдались повышение диастолического давления крови в центральной артерии сетчатки, ее венозное полнокровие, повышение внутриглазного давления синхронно с давлением крови в верхней луковиче яремной вены. В эксперименте с 3-часовой антиортостатической гипокинезией -20° офтальмологические исследования у 6 здоровых добровольцев-мужчин проводились на 30-й, 80-й минуте и в конце 3-го часа АНОГ и включали в себя офтальмоскопию, измерение диастолического давления крови в центральной артерии сетчатки и внутриглазного давления тонометром Маклакова.

У всех добровольцев диастолическое давление крови в центральной артерии сетчатки повысилось уже к 30-й минуте АНОГ в среднем на 14 мм рт. ст. К 80-й мин оно достигло максимума у большинства обследуемых и к концу 3-го часа у 4 добровольцев наметилась тенденция к снижению, а у 2 несколько повысилось. Внутриглазное давление изменялось разнонаправленно в пределах 2–4 мм рт. ст. При офтальмоскопии у всех обследуемых с 30-й минуты АНОГ отмечалось умеренно выраженное расширение вен сетчатки, к концу 3-го часа наблюдался выраженный отек сетчатки преимущественно вдоль сосудистого пучка, а в ряде случаев и перипапиллярный отек. Повышение диастолического давления крови в центральной артерии сетчатки представляло собой компенсаторную реакцию сосудистой системы сетчатки в ответ на измененные условия кровообращения в сетчатке, обусловленные перераспределением жидкой среды организма в краниальном направлении.

В экспериментах с зондированием яремной вены и правого предсердия до, во время и после 7-суточной антиортостатической -15° гипокинезии офтальмоскопически наблюдалось венозное полнокровие и перипапиллярный отек сетчатки, отмечалось

Количество наблюдений состояния органа зрения у российских космонавтов после длительных КП

Продолжительность КП, сут	На станциях «Салют» и «Мир»	На МКС
101-200	51	54
201-300	5	-
301-400	5	-
437	1	-

повышение диастолического давления крови в центральной артерии сетчатки и повышение венозного давления в течение первых 3 сут эксперимента с тенденцией к некоторому снижению в последующие дни, не доходя до исходного уровня, что указывало на возможность адаптации сосудистой системы глаза к условиям перераспределения крови в краниальном направлении.

Повышение давления крови в яремной вене и венозное полнокровие сетчатки глаза косвенно указывали на повышение внутричерепного давления по типу венозного застоя и гипергидратации головного мозга, в отличие от ретенционной внутричерепной гипертензии. Однако методики того времени не позволяли осуществить прямое измерение внутричерепного давления. И только в 1992 г. впервые был проведен эксперимент с прямым измерением внутричерепного давления у обезьяны *Maca mulatta* в КП на борту биоспутника «Космос-2229». Уровень внутричерепного давления был повышен в течение всего КП. С 6-х суток КП наблюдалась тенденция к его снижению как отражение адаптации системы внутричерепной гемодинамики к условиям невесомости [8].

Таким образом, результаты прямого измерения внутричерепного давления в КП подтвердили предположения о возможном повышении внутричерепного давления в условиях невесомости и о наличии адаптации ликворно-сосудистой системы к условиям перераспределения жидких сред в краниальном направлении.

Однако наличие компенсаторных реакций ликворно-сосудистой системы не исключает возможность развития клинически значимой внутричерепной гипертензии при длительном пребывании человека в условиях невесомости, если не применять средств противодействия перераспределению жидких сред.

На основании экспериментальных данных были разработаны стратегия и средства профилактики неблагоприятных эффектов невесомости, направленные на уменьшение прилива крови к голове (вакуумная емкость – система «Чибис», манжеты на верхнюю треть бедра, локомоторные физические тренировки на бегущей дорожке и др.).

По данным послеполетных офтальмологических исследований у всех российских космонавтов, выполнивших однократные и многократные КП на орбитальных станциях «Салют» и «Мир» продолжительностью до 437 сут, существенных изменений зрительных функций не наблюдалось. Отмечались как повышение, так и понижение остроты зрения у некоторых космонавтов в пределах точности метода исследования и естественных суточных колебаний остроты зрения, а также влияния общего и зрительного утомления космонавтов на заключительном этапе КП.

Американские специалисты по космической медицине почему-то подозревают, что российские специалисты скрывают факты ухудшения зрения во время и после длительных КП, связанные, по их мнению, с повышением внутричерепного давления. При этом они ссылаются на книгу Валерия Полякова, где он пишет, что во время полета отмечал ухудшение зрения. В действительности речь идет только об ухудшении зрения вблизи вследствие развития возрастной дальнозоркости (пресбиопии).

При офтальмоскопии ни у одного из российских космонавтов после длительных (до 437 сут) КП не наблюдалось застойных дисков зрительных нервов. Наблюдался лишь незначительный кратковременный (3–4 сут восстановительного периода) перипапиллярный отек сетчатки, который отмечался у космонавтов и после кратковременных (10–12 сут) КП. Это обусловлено главным образом воздействием поперечно направленных перегрузок во время спуска с орбиты на космическом корабле «Союз». Следует отметить, что за всю историю КП при офтальмоскопии у российских космонавтов в послеполетный период наблюдалось только у 1 космонавта точечное кровоизлияние в сетчатке одного глаза, связанное с жестким боковым приземлением спускаемого аппарата.

Таким образом, отсутствие клинически значимого повышения внутричерепного давления у российских космонавтов после длительных КП свидетельствует об эффективности бортовых средств, направленных на профилактику неблагоприятных эффектов длительной невесомости.

После длительных КП на МКС у российских космонавтов также не наблюдалось застойных дисков

зрительного нерва, складок хориоидеи и белых хлопьев на сетчатке, которые были обнаружены у американских астронавтов. И только у 5 космонавтов из 54 обследованных (таблица) после полугодовых КП на МКС наблюдалось увеличение продолжительности перипапиллярного отека до 7–14 сут восстановительного периода. Примечательно, что эти 5 космонавтов больше других выполняли физические упражнения на стенде ARED.

После выявления случаев отека зрительного нерва и внутричерепной гипертензии у американских астронавтов в послеполетный период офтальмологами ФГБУ «НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина» и ГНЦ РФ – ИМБП РАН было рекомендовано российским космонавтам избегать задержек дыхания при резистивных физических нагрузках на тренажере ARED, особенно при выполнении упражнений, сопровождающихся повышением внутригрудного и внутрибрюшного давления, для профилактики внутричерепной гипертензии, образования хориоидальных складок и отслойки сетчатки глаза. Правильное использование бортовых средств профилактики неблагоприятных эффектов перераспределения крови в краниальном направлении и соблюдение рекомендаций при выполнении упражнений на стенде ARED, вероятно, способствовали профилактике развития застойных дисков зрительного нерва.

Проблема зрительных нарушений и повышения внутричерепного давления при длительных КП требует продолжения комплексных исследований как в условиях наземных экспериментов с моделированием факторов КП, так и в реальных условиях КП с использованием функциональных тестов с перераспределением жидких сред организма, например, при приложении отрицательного давления к нижней половине тела.

Выводы

1. На основании экспериментальных исследований при изучении реакций сосудистой системы глаза и головного мозга человека в экспериментах, моделирующих эффекты невесомости (перераспределение жидких сред организма в краниальном направлении), косвенно была установлена возможность гипергидратации головного мозга и повышения внутричерепного давления у космонавтов в условиях невесомости. Разработанные российскими специалистами средства профилактики неблагоприятных эффектов длительной невесомости у космонавтов показали свою высокую эффективность.

2. Степень выраженности эффектов невесомости зависит как от индивидуальных особенностей реакции организма космонавтов на воздействие факторов КП, так и от аккуратности использования

космонавтами средств и методов профилактики эффектов невесомости во время КП.

3. Для выявления причин возникновения синдрома внутричерепной гипертензии у американских астронавтов необходим сравнительный анализ условий пребывания экипажей на орбитальных станциях «Салют» и «Мир» с условиями полета на МКС.

4. Для изучения влияния отдельных факторов КП на зрительные функции и внутричерепное давление космонавтов целесообразны наземные и полетные экспериментальные исследования влияния резистивных физических нагрузок в условиях перераспределения жидких сред организма человека в краниальном направлении (в КП и в экспериментах с АНОГ или «сухой» иммерсией) с использованием бортового варианта когерентного ретинотомографа (ОСТ Spectralis фирмы Heidelberg Engeneering) для оценки состояния сетчатки и диска зрительного нерва.

Список литературы

1. Mader T.H., Gibson C.R., Pass A.F. et al. Optic disc edema in an astronaut after repeat long-duration space flight // J. Neuro-Ophthalmol. 2011. V. 33. № 3. P. 249–255.
2. Kramer L.A., Sargsyan A.E., Hasan K.M. et al. Orbital and intracranial effects of microgravity: findings at 3-T MR imaging // Radiol. 2012. V. 263. № 3. P. 819–927. Epub 2012 Mar 13.
3. Mader T.H., Gibson C.R., Pass A.F. et al. Optic disc edema, globe flattening, choroidal folds, and hyperopic shifts observed in astronauts after long-duration space flight. // Ophthalmol. V. 118. № 10. P. 2058–2069.
4. Елисеева И.М., Серова Н.К., Гаспарян С.С. и др. Нейрофизиологические аспекты синдрома доброкачественной внутричерепной гипертензии // Вестн. офтальмологии. 2008. Т. 124. № 3. С. 26–30.
Eliseeva I.M., Serova N.K., Gasparyan C.C. et al. Neuroophthalmological aspects of benign intracranial hypertension // Vestnik oftalmologii. 2008. V. 124. № 3. P. 26–30.
5. Морозов В.И., Яковлев А.А. Заболевания зрительного пути. Клиника, диагностика, лечение. М., 2010.
Morozov V.I., Yakovlev A.A. Disease of optics tracks. Clinic, diagnostic, treatment. Moscow, 2010.
6. Кузьмин М.П. Реакция сосудов сетчатки глаза и внутриглазного давления при 120-суточном пребывании человека в горизонтальном положении // Косм. биол. и авиакосм. мед. 1973. № 2. С. 65–68.
Kuzmin M.P. Retinal vessels and intraoptic pressure during a 120-day bed rest experiment // Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina. 1973. № 2. P. 65–68.
7. Газенко О.Г., Шумаков В.И., Волынкин Ю.М. и др. Применение методики селективного зондирования сердца и магистральных сосудов в медико-биологических исследованиях с участием здоровых людей // Там же. 1977. № 5. С. 47–50.

Gazenko O.G., Shumakov V.I., Volynkin Yu.M. et al. Use of the technique of selective catheterization of the heart and major vessels in manned biomedical experiments // *Ibid.* 1977. № 5. P. 47–50.

8. *Трамбовецкий Е.В., Кротов В.П., Корольков В.И.* Внутрочерепное давление у обезьяны в полете на биоспутнике «Космос-2229» // *Авиакосм. и экол. мед.* 1995. № 4. С. 37–41.

Trambovetskiy E.V., Krotov V.P., Korolkov V.I. Intracranial pressure in primate during the flight of biosatellite Cosmos-2229 // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 1995. № 4. P. 37–41.

ON THE INTRACRANIAL HYPERTENSION IN ASTRONAUTS DURING LONG-TERM MICROGRAVITY

Bogomolov V.V., Kuzmin M.P., Danilichev S.N.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2015. V. 49. № 4. P. 54–58

Поступила 04.02.2015

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

УДК 061.3(100):[613.693+57]

СЕМНАДЦАТОЕ СОВЕЩАНИЕ РОССИЙСКО-АМЕРИКАНСКОЙ СОВМЕСТНОЙ РАБОЧЕЙ ГРУППЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЯМ В ОБЛАСТИ КОСМИЧЕСКОЙ БИОМЕДИЦИНЫ И БИОЛОГИИ

Ильин Е.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва
E-mail: ilyine@imbpr.ru

Совещание было проведено в г. Хьюстоне (Техас, США) в период с 8 по 10 июня 2015 г. Следует отметить, что этот год применительно к российско-американскому сотрудничеству является в определенном смысле юбилейным. В этом году исполнилось 40 лет со дня первой стыковки в космосе российского и американского кораблей «Союз» и «Аполлон». Участниками совместного полета состыкованных кораблей явились А.В. Леонов, В. Кубасов (СССР), Т. Стаффорд, В. Бранд и Д. Слейтон (США). Как известно, в дальнейшем были проведены многочисленные стыковки кораблей «Спейс шаттл» со станцией «Мир».

В этом году исполнилось также 40 лет выхода в свет первого советско-американского издания в 3 томах и 4 книгах «Основы космической биологии и медицины» на русском и английском языках. Главными редакторами издания были О.Г. Газенко (СССР) и М. Кальвин (США). Второе российско-американское издание «Космическая биология и медицина» в 5 томах и 6 книгах на русском и английском языках издавалось отдельными томами в период 1994–2009 гг. Общую редакцию издания осуществляли О.Г. Газенко, А.И. Григорьев (Россия), А.Е. Никогосян, С.Р. Моллер (США). Хочется надеяться, что в будущем появятся и другие совместные российско-американские издания.

Наконец, в 1975 г., т.е. 40 лет назад, состоялся орбитальный полет российского биоспутника «Космос-782» («Бион-3»), в котором впервые были проведены совместно с американскими специалистами эксперименты на крысах, насекомых, тканевых культурах и по радиационной дозиметрии. В последующие годы американские специалисты приняли участие в проведении совместных биологических экспериментов в полетах еще 9 биоспутников «Бион» (1977–1997), космических аппаратов (КА) «Фотон-М2 и -М3» (2005, 2007) и биоспутника «Бион-М1» (2013).

Однако начало 2015 г. ознаменовалось и грустным событием в российско-американском сотрудничестве. Ушел из жизни врач-космонавт Борис

Владимирович Моруков, который совершил полет на Международную космическую станцию (МКС) в 2000 г. на борту американского космического корабля «Атлантис» (STS-1065). Борис Владимирович как космонавт, ученый и сопредседатель подгруппы по биомедицинским исследованиям российско-американской совместной рабочей группы (СРГ) внес большой вклад в развитие российско-американского сотрудничества. Американские и российские специалисты выступили на совещании с теплыми воспоминаниями о Борисе Морукове и отметили его большой вклад в космическую медицину.

В состав российской делегации на 17-м Совещании вошли специалисты Института медико-биологических проблем РАН, Объединенного института ядерных исследований, Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН и Совета РАН по космосу. Руководителем российской делегации был академик И.Б. Ушаков, директор ГНЦ РФ – ИМБП РАН. В связи с тем, что на 11 июня с.г. было перенесено приземление экипажа 43-й экспедиции МКС, представители Роскосмоса, Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина и некоторые специалисты ИМБП не смогли принять участие в этом совещании.

От американской стороны в совещании приняли участие специалисты Космического центра им. Л. Джонсона, Эймсского исследовательского центра НАСА, Космического центра им. Дж. Кеннеди, Национального института космической биомедицины и штаб-квартиры НАСА. Американскую делегацию возглавлял д-р Д.М. Портерфилд, руководитель Управления НАСА по наукам о жизни и микрогравитационным исследованиям.

Проведенное Совещание еще раз продемонстрировало важность встреч российских и американских специалистов в рамках СРГ. Поскольку на МКС работают представители различных космических агентств, российско-американское сотрудничество в рамках СРГ осуществляется при тесном взаимодействии с такими международными структурами, как Многосторонняя группа по исследованиям на

человеке в интересах освоения дальнего космоса (MHRPE), Международная рабочая группа по мерам профилактики (ICMWG), Рабочая группа по аналогам (HANA), Многосторонняя комиссия по медицинским операциям (MMOP), Многосторонний экспертный совет по исследованиям на человеке (HRMRB). Так как НАСА и Роскосмос являются основными партнерами на МКС, российско-американская СРГ по исследованиям в области космической биомедицины и биологии играет основополагающую роль в определении текущих и стратегических научных задач в интересах освоения человеком ближнего и дальнего космоса.

Естественно, что основное внимание в повестке дня 17-го совещания было уделено биомедицинским исследованиям человека. Стороны обменялись информацией об основных результатах биомедицинских исследований за прошедший с 16-го Совещания СРГ отрезок времени и обсудили статус совместных экспериментов в годовом полете российско-американского экипажа («Перемещение жидкостей» и «Полевой тест»).

С целью повышения результативности проводимых на МКС биомедицинских исследований стороны договорились продолжить выработку унифицированного протокола оценки состояния здоровья и работоспособности экипажей, а также оценки эффективности средств профилактики. Стороны отметили также необходимость определения механизма обмена результатами проводимых исследований.

Российско-американские специалисты были едины во мнении о том, что исследования на МКС – это основа для решения биомедицинских проблем по сокращению воздействующих на человека рисков и отработке технологий медицинского обеспечения полетов человека в дальний космос, в частности на Марс. В этой связи стороны выразили пожелание о продолжении годовых полетов российско-американских экипажей на МКС. На Совещании рассматривались и другие сценарии моделирования в полете МКС марсианской экспедиции.

Совещание отметило важную роль этической экспертизы планируемых исследований на человеке, в первую очередь генетических, т.к. эти исследования можно рассматривать как вмешательство в личную жизнь обследуемого. Американская сторона сообщила о своем проекте GeneLab, который предусматривает создание базы данных по генетическим исследованиям на человеке в полете МКС. Подчеркнуто, что этот проект открыт для международной научной общественности, и американские специалисты пригласили российских специалистов принять в нем участие путем дополнения базы данных и ее использования в интересах российской науки. Стороны обсудили проект GeneLab с точки зрения возможности российско-американского сотрудничества по генетическим исследованиям.

Понимая ограниченные возможности исследований на МКС, стороны рассмотрели возможность сотрудничества в проведении наземных экспериментов с моделированием воздействия на человека отдельных или совокупности факторов космического полета. Наиболее детально было обсуждено предложение российской стороны о проведении совместных исследований на базе российского наземного экспериментального комплекса, находящегося в ведении ИМБП РАН.

Космическая биология была представлена на совещании значительно меньшим числом участников по сравнению с тем, как это было при обсуждении биомедицинских исследований человека. Тем не менее круг обсуждаемых вопросов был достаточно широк – это текущие и перспективные биологические эксперименты в полете МКС, основные результаты исследований в полете российского КА «Фотон-М4», возможность проведения совместных полетных экспериментов с использованием имеющихся на МКС центрифуги, аппаратуры Лада-2, усовершенствованной оранжереи Veggie и пр. Американская сторона выразила благодарность за предоставленную возможность участия в российском проекте «Бион-М1». Российская сторона пригласила американскую сторону рассмотреть возможность сотрудничества в рамках проекта «Бион-М2». Американская сторона согласилась изучить это предложение.

Стороны обсудили также вопросы возможного сотрудничества в области космической биологии в наземных лабораторных условиях с использованием ускорителей заряженных частиц и камер, создающих гипомагнитную среду.

Как и на предыдущих совещаниях, большое внимание было уделено вопросам подготовки молодых специалистов в области космической биомедицины и биологии.

В период проведения совещания было организовано посещение российскими специалистами Космического центра им. Л. Джонсона и ознакомление со стендами и макетами перспективных пилотируемых космических аппаратов.

Совещание прошло в деловой обстановке в духе взаимной заинтересованности в продолжении сотрудничества.

Поступила 18.06.2015

SEVENTEENTH MEETING OF THE US/RUSSIAN JOINT WORKING GROUP ON THE SPACE BIOMEDICAL AND BIOLOGICAL SCIENCES RESEARCH

Ilyin E.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).
2015. V. 49. № 4. P. 59–60

Редколлегия журнала с прискорбием извещает о том,
что 27 июля 2015 г. ушел из жизни после тяжелой и длительной болезни

Виктор Сумбатович Оганов,
доктор медицинских наук, профессор, ведущий ученый
в области гравитационной физиологии.

Редколлегия журнала сердечно поздравляет
с юбилейными датами ведущих специалистов
в области космической медицины и биологии,
сотрудников ИМБП:

Еремеева Сергея Ивановича

Попову Ирину Игоревну

Боровика Анатолия Стратоновича

Труханова Кирилла Александровича

Добрые вам пожелания и плодотворного сотрудничества
с нашим журналом!