

# **АВИАКОСМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА**

## **AVIAKOSMICHESKAYA I EKOLOGICHESKAYA MEDITSINA**

НАУЧНЫЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
SCIENTIFIC PERIODIC JOURNAL

### **ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

Орлов О.И., д.м.н., академик РАН

### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

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

### **РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

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

**2017 Т. 51 № 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, 2017  
© State Research Center RF – Institute of Biomedical Problems Russian Academy of Sciences, 2017

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

**Метаданные статей, опубликованных в журнале, доступны в базе данных РИНЦ  
([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)) и на сайте журнала [journal.imbp.ru](http://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](mailto:library@imbp.ru)  
Секретарь: Муромцева Т.С., тел.: 8 (499) 195-65-12, эл. почта: [arhiv@imbp.ru](mailto:arhiv@imbp.ru)

Сдано в набор 25.07.2017  
Подписано в печать 07.08.2017  
Формат 60 × 84 1/8  
Гарнитура Таhoma  
Печать офсетная  
Усл. печ. л. 8,37  
Тираж 220 экз  
Заказ № ...

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

## Содержание

## Contents

### Экспериментальные и общетеоретические исследования

### Experimental and Theoretical Investigations

- Ильин Е.А.* Психологический статус полярников и его фармакокоррекция в условиях годовой изоляции на станции «Восток» в Антарктиде **5** *Ilyin E.A.* The psychological status of the polar explorers and its pharmacocorrection in conditions of annual isolation at «Vostok» station in Antarctica
- Рюмин О.О.* Вопросы психологического обеспечения пилотируемых межпланетных полетов **15** *Ryumin O.O.* Some issues of the psychological support to piloted interplanetary missions
- Каширина Д.Н., Пастушкова Л.Х., Кононихин А.С., Тийс Е.С., Доброхотов И.В., Носовский А.М., Николаев Е.Н., Ларина И.М.* Анализ влияния уровня солепотребления на экспрессируемые в эндотелии белки мочи человека при 105-суточной изоляции **21** *Kashirina D.N., Pastushkova L.Kh., Kononikhin A.S., Tiys E.S., Dobrokhotoov I.V., Nosovsky A.M., Nikolaev E.N., Larina I.M.* Analysis of the salt consumption effects on endothelial proteins in human urine during 105-day isolation
- Кузнецова П.Г., Гушчин В.И., Натура Е.С.* Связь психологической устойчивости с успешностью межличностного взаимодействия в условиях изоляции: теоретические и методические аспекты **28** *Kuznetsova P.G., Gushchin V.I., Natura E.S.* The association between psychological stability and successful interpersonal interaction in isolation: theoretical and methodical aspects
- Плахов Н.Н., Глазников Л.А., Сорокина Л.А., Буйнов Л.Г.* Авиационный шум как ведущий неблагоприятный фактор профессиональной деятельности инженерно-технического состава палубной авиации **34** *Plakhov N.N., Glaznikov L.A., Sorokina L.A., Buynov L.G.* Aviation noise as a major adverse factor in the professional activity of carrier-based aircraft technical personnel
- Орлов О.И., Переведенцев О.В., Мамонова Е.Ю., Леванов В.М.* Метод автоматизированного комплексного анализа состояния здоровья и медицинского обеспечения в экстремальных условиях производственной деятельности **39** *Orlov O.I., Perevedentsev O.V., Mamonova E.Yu., Levanov V.M.* Method of automated complex analysis of health and medical provision in extreme occupational environments
- Николаев В.П., Соколов Г.М.* Теоретическое обоснование эффективности воздушного режима лечебной рекомпрессии с исходным давлением 4 ата **45** *Nikolaev V.P., Sokolov G.M.* Theoretical justification of efficiency of air recompression treatment schedule using the initial pressure of 4 ata

Дешева Е.А., Хамидуллина Н.М., Гуридов А.А., Захаренко Д.В., Новикова Н.Д., Фиалкина С.В., Орлов О.И. Обеспечение программы планетарной защиты при реализации миссии «ЭкзоМарс-2016» **52** Deshevaya E.A., Khamidullina N.M., Guridov A.A., Zakharenko D.V., Novikova N.D., Fialkina S.V., Orlov O.I. Execution of the planetary protection program within the scope of «Exomars-2016» mission

Смирнова Т.А., Ильин Е.А. Этика проведения биомедицинских исследований и испытаний **59** Smirnova T.A., Ilyin E.A. Ethics of biomedical investigations and tests

### **Краткие сообщения**

### **Brief Communications**

Яснецов В.В., Мотин В.Г., Яснецов Вик.В. Исследование роли ГАМК-ергического компонента в действии мелатонина на уровне мозжечка животных **69** Yasnetsov V.V., Motin V.V., Yasnetsov Vik.V. Study of the role of the gaba-ergic component in the melatonin action on the animal cerebellum

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК: 612.821:001.8(99)

### ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС ПОЛЯРНИКОВ И ЕГО ФАРМАКОКОРРЕКЦИЯ В УСЛОВИЯХ ГОДОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА СТАНЦИИ «ВОСТОК» В АНТАРКТИДЕ

**Ильин Е.А.**

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

E-mail: [ilyine@imbp.ru](mailto:ilyine@imbp.ru)

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-5-14



*Ильин Евгений Александрович – главный научный сотрудник Государственного научного центра РФ – Института медико-биологических проблем РАН, доктор медицинских наук, профессор, действительный член Международной академии астронавтики, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, заслуженный деятель науки РФ, полковник медицинской службы в отставке.*

*Работает в области космической биологии и медицины с 1961 года. Является специалистом в области физиологии экстремальных воздействий на организм человека и животных. В составе 13 Советской антарктической экспедиции (1968) проводил исследования на полярниках станции «Восток». В последующие годы являлся одним*

*из руководителей программы медико-биологических исследований в 11 полетах биоспутников «Бион» и 2 полетах КА «Фотон-М». Награжден орденами, медалями и почетными грамотами. С 1989 г. является заместителем главного редактора нашего журнала.*

*Редколлегия журнала сердечно поздравляет Евгения Александровича с 80-летием и желает ему доброго здоровья, успехов и творческого долголетия.*

Одной из проблем медицинского обеспечения длительных пилотируемых космических полетов (КП) является прогнозирование возможных изменений поведения, работоспособности, функциональных расстройств и заболеваний в полете, а также их профилактика и лечение. Это положение вряд ли является спорным, поскольку хорошо известно, что физическое здоровье, устойчивая психика и тренированность космонавтов являются важнейшими факторами, определяющими успешное выполнение программы полета и благополучное возвращение на Землю.

Опыт медицинского обеспечения КП, подводных лодок и полярных экспедиций показывает, что длительное пребывание человека в необычных условиях обитания приводит к разнообразным изменениям в организме, которые свидетельствуют о снижении его функциональных возможностей. Следовательно, изучение особенностей адаптации здорового человека к различным экстремальным ситуациям и выявление механизмов возникающих при этом расстройств является основой для разработки и апробации профилактических и лечебных мероприятий, направленных на поддержание оптимального функционального состояния организма и работоспособности в длительных КП.

Для того чтобы работа в этом направлении исследований была более успешной, необходимо по возможности максимальное приближение условий проведения наземных экспериментов к условиям длительных КП, в первую очередь по таким

основным факторам, как физическая и социальная изоляция микроколлектива, автономность существования, гипокинезия, особенности профессиональной деятельности.

Анализ результатов биомедицинских исследований в Арктике и Антарктике показывает, что при длительном пребывании практически здоровых людей в условиях сенсорной, информационной и двигательной недостаточности, обусловленной физической и социальной изоляцией микроколлектива, функциональные изменения в организме являются в основном неспецифическими и свидетельствуют о постепенном развитии астенического синдрома, проявлениями которого являются повышенная утомляемость и истощаемость, ослабление способности к продолжительному умственному напряжению, а клинически – развитием различных форм неврастении [1, 2]. Следовательно, изучение закономерностей развития этого состояния, а также способов его коррекции в условиях изоляции в Антарктиде является актуальным для решения проблемы медицинского обеспечения не только антарктических экспедиций, но и длительных пилотируемых КП. Врачи антарктических экспедиций Н.Р. Деряпа [3] и И.И. Тихомиров [4], анализируя суровые климатические условия в районе расположения станции «Восток» в Антарктиде, считают их близкими к пределу переносимости человеческим организмом, а некоторые исследователи полагают, что при попытках разработать показатели для отбора космонавтов в длительные полеты антарктическая зимовка с ее изоляцией и риском настолько обеспечивает сходные условия с космической ситуацией, насколько это возможно на Земле.

#### *Условия зимовки на станции «Восток»*

Общими факторами риска для здоровья человека в антарктической и космической экспедициях являются:

- физическая и социальная изоляция с ограниченным объемом связи с внешним миром;
- монотонность и однообразность жизни;
- автономность существования;
- Небольшая по площади и объему зона обитания;
- ограничение двигательной активности;
- измененные параметры микроклимата внутри антарктической и орбитальной станций;
- небольшой по численности коллектив (7–16 человек);
- экстремальные условия за пределами станции и необходимость надевания специальной защитной одежды для работы снаружи станции;
- непривычное чередование дня и ночи за пределами станции;
- измененное геомагнитное поле.

Действительно, в течение годовой зимовки на станции «Восток» в Антарктиде полярники сталкиваются со многими неблагоприятными факторами. Прежде всего, это изоляция, поскольку станция «Восток» расположена в снежной пустыне на сравнительно большом удалении от населенных материков. На протяжении года зимовки связь с внешним миром, в частности, с родными и близкими осуществлялась в годы исследований лишь с помощью телеграмм. Изоляция небольшого коллектива (16 человек) станции «Восток» от внешнего мира определялась не только резким уменьшением числа каналов связи и сокращением объема поступающей извне информации, но и невозможностью получения в течение 9–10 мес помощи, необходимой в случае возникновения на станции тяжелых заболеваний или аварийных ситуаций.

Другой весьма существенной особенностью, сближающей зимовку на станции «Восток» с условиями длительного КП, является чрезвычайное однообразие окружающей обстановки и монотонность режима труда и отдыха. Скучность зрительных впечатлений, обусловленная снежным ландшафтом, отсутствие животного и растительного мира, вынужденное пребывание в одном и том же небольшом коллективе, отсутствие семьи, однообразная еда, стандартная запрограммированная работа на протяжении года практически без выходных и праздничных дней, длительные (по 4 мес) полярные день и ночь – это лишь небольшой перечень факторов, определяющих особенности годового пребывания человека на антарктической станции «Восток».

Низкие температуры воздуха (в среднем минус 55 °С) в районе расположения станции заставляют полярников практически все время проводить в помещении. Средняя продолжительность пребывания вне станции составляла 1,3 ч в сутки. Сочетание малоподвижного образа жизни с небольшим объемом физических работ на протяжении года зимовки дает основание считать относительную гипокинезию одним из факторов, оказывающим вместе с другими вышеперечисленными факторами астенизирующее и детренирующее влияние на организм человека, находящегося в течение года на станции «Восток» в Антарктиде.

Расположение станции «Восток» на ледниковом куполе, где средняя величина барометрического давления составляет 460 мм рт. ст., что соответствует высоте 4000 м, позволяет исследовать влияние на организм хронической гипоксии в сочетании с другими неблагоприятными факторами и оценить возможность использования гипобарической атмосферы с пониженным содержанием кислорода на борту пилотируемых космических аппаратов или планетных станций.

Таким образом, вышеизложенное свидетельствует о том, что станция «Восток» в Антарктиде

является уникальной лабораторией, где экстремальные условия жизнедеятельности полярников в значительной степени напоминают условия в длительных КП.

Зимовки специалистов ИМБП на этой станции в 1966–1972 гг. использовались для набора экспериментальных данных применительно к длительным полетам на создаваемых в то время орбитальных станциях, в частности, для изучения адаптации человека к экстремальным условиям, прогнозирования возможных нарушений поведения, работоспособности, функциональных расстройств и заболеваний, а также для апробации средств поддержания оптимального функционального состояния организма человека и его профессиональной деятельности.

В данной работе представлен обзор некоторых результатов, полученных автором во время годовой зимовки на станции «Восток» в 1968 г. (13-я Советская антарктическая экспедиция).

Наблюдения и исследования были проведены на 16 практически здоровых полярниках – лицах мужского пола в возрасте от 30 до 40 лет. Это была случайно отобранная группа лиц по профессиональному признаку: два метеоролога, радист, астроном, магнитолог, врач-хирург и врач-терапевт (он же исследователь), два механика-дизелиста, повар, начальник станции и т.д. Все они различались по возрасту, семейному положению, полярному стажу, культуре, уровню интеллектуального развития, темпераменту, интересам и особенностям поведения.

В течение года полярники жили в одних и тех же помещениях, некоторые из которых использовались и как жилые, и как рабочие (52 м<sup>2</sup>). Площадь сугубо рабочих помещений составляла 32 м<sup>2</sup>, кают-компания с библиотекой – 40 м<sup>2</sup>. Все это свидетельствует о том, что условия жизни в плане размещения полярников были лишь немного лучше так называемых критических санитарно-допустимых норм обитания.

Задачами наших наблюдений и исследований являлись:

- изучение динамики психофизиологического статуса полярников в течение годового пребывания на станции «Восток» в Антарктиде;
- оценка эффективности средств фармакологической коррекции психофизиологического статуса полярников в условиях длительной изоляции.

Для решения этих задач помимо ежедневного медицинского наблюдения за поведением и состоянием здоровья использовались опросные карты, одиночные и парные ассоциативные пробы, парные словесные пробы, решение гомеостатических задач и электроэнцефалография. Исследования и фармакокоррекция проводились при добровольном Информированном согласии полярников и при соблюдении норм биоэтики.

## Результаты и обсуждение

Совместно с фармакологом Ф.Н. Усковым была разработана и апробирована во время зимовки на станции «Восток» схема фармакологической коррекции возможных изменений нервно-психического состояния полярников [5, 6]. При выборе фармакологических средств исходили из необходимости коррекции в первую очередь астении, которая по данным литературы, является неизбежным следствием длительного пребывания человека в экстремальных условиях.

Для выяснения эффективности применяемых для фармакокоррекции средств полярники (обследуемые) были разделены на 2 группы: экспериментальную (8 человек) и контрольную (8 человек). При проведении тех или иных курсов фармакокоррекции обследуемые контрольной группы получали индифферентные препараты (плацебо). После окончания каждого курса фармакокоррекции проводили комплексное психофизиологическое обследование обеих групп полярников.

*1–2-й месяцы изоляции.* Проведенные наблюдения и исследования показали, что в первые 1,5 месяца зимовки, т.е. в период наиболее активной адаптации организма к новым условиям, отмечалось повышение возбудимости центральной нервной системы (ЦНС). Это нашло отражение в уменьшении времени выполнения тестов на умственную работоспособность, увеличении количества запоминаемых слов, ускорении ассоциативного мышления, повышенной способности концентрировать внимание. На электроэнцефалограммах (ЭЭГ), зарегистрированных до курса фармакокоррекции, отмечено учащение альфа-ритма, появление спайковой активности и острых волн, увеличение бета-активности (табл. 1, 2, А, Б). Повышение функциональных возможностей ЦНС в начальном периоде зимовки было обусловлено прежде всего ее участием в быстрой мобилизации компенсаторных реакций организма в ответ на воздействие комплекса новых необычных условий жизнедеятельности. Определенное значение в активизации нервных механизмов имела также сознательная установка на скорейшее преодоление трудностей начального периода зимовки. Настроение у обследуемых в этот период было приподнятым, оживленным.

Общеизвестно, что всякая адаптация или акклиматизация организма к новым, тем более необычным условиям существования является дополнительной нагрузкой для большинства функциональных систем организма, и в первую очередь, для ЦНС. Исходя из этого, спустя 50 сут после прибытия полярников на станцию «Восток» был начат первый курс профилактической фармакокоррекции. К этому времени закончился «острый» период адаптации организма к новым условиям жизни и работы, поэтому целью

Таблица 1

## Характеристика альфа-активности ЭЭГ обследуемых на станции «Восток»

Группы обследуемых	Показатели	Исследования					
		0	I	II	III	IV	V
Экспериментальная n = 8	Частота альфа-ритма, Hz	10,2 ± 0,3	11,0 ± 0,2	10,6 ± 0,3	10,5 ± 0,2	10,3 ± 0,3	10,1 ± 0,3
		10,7 ± 0,4	11,5 ± 0,2	11,3 ± 0,3	11,3 ± 0,3	11,0 ± 0,3	10,8 ± 0,2
Экспериментальная n = 8	Амплитуда альфа-ритма, $\mu$ V	57,8 ± 8,9	65,8 ± 9,6	69,4 ± 8,2	63,1 ± 7,0	69,8 ± 10,8	68,1 ± 10,3
		73,8 ± 6,9	72,0 ± 7,3	68,3 ± 8,9	67,0 ± 6,8	85,0 ± 8,7	70,6 ± 8,8
Экспериментальная n = 8	Альфа-индекс, %	75,9 ± 7,2	79,8 ± 6,4	81,9 ± 5,5	77,2 ± 6,1	81,8 ± 5,2	84,7 ± 6,4
		73,3 ± 9,8	83,1 ± 9,5	79,1 ± 8,1	81,9 ± 8,8	77,8 ± 10,0	74,7 ± 10,5

Примечание. Здесь и в табл. 2: 0 – до прибытия на станцию «Восток»; I – на 2-м месяце изоляции; II – на 4-м месяце изоляции; III – на 6–7-м месяце изоляции; IV – на 9-м месяце изоляции; V – на 12-м месяце изоляции.

данного курса фармакокоррекции являлось ускорение течения восстановительных процессов в ЦНС.

Применяемые для этого фармакологические препараты были объединены под названием восстановительного комплекса, включающего в свой состав аскорбиновую кислоту с глюкозой (0,1 г), глицерофосфат кальция (0,25 г), глутаминовую кислоту (0,5 г) и элениум (хлордиказепоксид) – транквилизатор (0,01 г). Продолжительность курса составляла 2 нед.

К началу курса фармакокоррекции, т.е. в конце 2-го месяца пребывания на станции «Восток», наряду со стабилизацией основных функций организма, появились первые признаки негативных изменений поведенческой активности обследуемых. Так, если для первых недель зимовки было характерно общее оживление, приподнятое настроение, внимательное, чуткое отношение друг к другу, то потом начался спад общей активности. Полярники стали более замкнутыми, появились разговоры о доме. У 1 обследуемого в это время развилась клинически выраженная реактивная депрессия с резким ухудшением настроения, замкнутостью, полной потерей аппетита, снижением жизненного тонуса и работоспособности, плохим сном. Для лечения был использован мелипрамин – психофармакологическое средство, обладающее антидепрессивным свойством. Лечение продолжали в течение 3 нед (0,05 г), а к 10-му дню суточная доза мелипрамина была доведена до 0,25 г. К этому времени эффект от приема мелипрамина был замечен – улучшились настроение, аппетит и сон. Однако у обследуемого еще сохранились повышенная обидчивость, раздражительность и замкнутость. После 2 нед лечения дозу мелипрамина стали уменьшать, доведя ее в течение 6 дней до стабилизирующей (0,075 г в сут). Через 3 нед лечения мелипразином обследуемый был выведен из состояния реактивной депрессии. Однако еще в течение 1 нед для закрепления полученного эффекта был продолжен прием мелипрамина в поддерживающей дозе (0,025 г в сут). На всем протяжении лечения мелипразином обследуемый получал также восстановительный комплекс фармакологических препаратов, исключая элениум. Восстановительный комплекс фармакологических препаратов способствовал стабилизации нервных процессов у этого обследуемого и улучшению общего состояния других полярников [7, 8].

**3–4-й месяцы изоляции.** В этот период зимовки у отдельных полярников стала появляться скрытая неприязнь друг к другу. Возникли первые конфликты на почве работы, начались споры по пустякам, появилось желание «шутить» друг над другом. Несмотря на это, взаимоотношения в коллективе оставались в целом хорошими. Общая активность у большинства обследуемых нормализовалась.

В экспериментальной группе на 4-м месяце зимовки произошло более значительное по сравнению

Основные изменения ЭЭГ обследуемых на станции «Восток» во время зимовки

Группы обследуемых	Исследования				
	I	II	III	IV	V
<i>А. Количество обследуемых (%) с повышенной активностью бета-ритма</i>					
Экспериментальная n = 8	87,5	50,0	37,5	25,0	25,0
Контрольная n = 8	50,0	37,5	37,5	62,6	50,0
<i>Б. Количество обследуемых (%) с повышенной активностью спайков и острых волн</i>					
Экспериментальная n = 8	25,0	0	0	0	0
Контрольная n = 8	12,5	0	0	12,5	0
<i>В. Количество обследуемых (%) с повышенной активностью тета-ритма</i>					
Экспериментальная n = 8	12,5	12,5	25,0	12,5	12,5
Контрольная n = 8	25,0	12,5	50,0	50,0	50,0
<i>Г. Количество обследуемых (%) с повышенной активностью дельта-ритма</i>					
Экспериментальная n = 8	0	0	0	0	1
Контрольная n = 8	12,5	12,5	37,5	25,0	37,5

с контрольной уменьшение числа обследуемых с повышенной активностью бета-ритма на ЭЭГ (см. табл. 2, А). Кроме того, на ЭЭГ обследуемых экспериментальной группы перестали регистрироваться спайки и острые волны (см. табл. 2, Б).

В этот же период появились уже довольно отчетливые признаки развивающейся неврастении. Обследуемые стали более раздражительными, несдержанными. Настроение часто менялось от нормального к угнетенному, тоскливому. Впервые у обследуемых отмечено снижение интереса к работе. Длительно заниматься одним и тем же делом стало труднее. Это являлось свидетельством развития в этот период зимовки признаков утомления. Появилось желание как можно скорее выполнить положенную по программе работу и переключиться на новое занятие – чтение, разговор, игру в бильярд и т.п. По-прежнему возникали споры, часто резкие. Аппетит заметно ухудшился, по ночам некоторых иногда беспокоили тревожные сновидения.

Взаимоотношения между отдельными полярниками стали ухудшаться. Причиной этого опять-таки являлись неразрешенные мелкие конфликты на почве работы, а не особенности характера. Последние, как правило, не служили поводом для насмешек и ссор в этот период зимовки. Следует отметить, что и у космонавтов по данным ЭЭГ-исследований к 4–5-месяцам месяца полета также появляются признаки утомления [9].

*5-й месяц изоляции.* Наступление полярной ночи не привело к каким-либо резким изменениям

нервно-психического состояния. Общее самочувствие у всех обследуемых оставалось хорошим, однако по-прежнему сохранились умеренно выраженные признаки неврастении – повышенная раздражительность, некоторая общая напряженность, аффективность реакций, неустойчивость настроения, потребность в частой смене занятий. У 2 полярников появился кожный зуд. Расстройства сна отмечались лишь у тех, кто нарушал режим дня. Другими словами, на 5-м месяце преобладала так называемая гиперстеническая форма неврастении. При этом каких-либо существенных нарушений вегетативных функций организма (вегетоневрозов) не наблюдали.

У обследуемых, принимавших ранее восстановительный комплекс фармакологических препаратов, вышеуказанные симптомы появились несколько позже и были менее выраженными, чем у обследуемых контрольной группы.

Для коррекции неврастенического состояния, развивающегося у здоровых людей при длительном пребывании в необычных условиях обитания среды, нами был использован транквилизатор триоксазин по 0,3 г 3 раза в сут. Курс продолжали в течение 4 нед. Положительное действие триоксазина стало выявляться через 10 сут после начала приема. Прежде всего исчезла аффективная несдержанность и повышенная истощаемость нервной системы во время выполнения однообразной работы или даже во время игр. Настроение стало более ровным, наступило состояние своеобразного душевного

умиротворения. Конфликты в коллективе практически исчезли. Сновидения стали эмоционально окрашенными, пробуждение от сна более легким.

*6-7-й месяцы изоляции.* Применение восстановительного комплекса препаратов (2–3-й месяцы зимовки), а впоследствии триоксазина привело к более значительным положительным изменениям на ЭЭГ у обследуемых экспериментальной группы – альфа-индекс в середине зимовки практически нормализовался (см. табл. 1). Число обследуемых с повышенной активностью тета-ритма в контрольной группе увеличилось вчетверо, а в экспериментальной – только вдвое (см. табл. 2, В). Как и раньше, в этот период зимовки число обследуемых в экспериментальной группе с повышенной дельта-активностью на ЭЭГ осталось прежним, зато в контрольной группе увеличилось в 3 раза (см. табл. 2, Г). Обнаруженные на ЭЭГ изменения ритмов позволяют говорить о благоприятном влиянии на ЦНС препаратов восстановительного комплекса и триоксазина, используемых в необычных условиях жизнедеятельности. В то же время в ЦНС обследуемых контрольной группы произошли более значительные изменения, свидетельствующие о дальнейшем развитии неврастении. Следует отметить, что уменьшение активности альфа-ритма и увеличение доли тета-ритма на ЭЭГ отмечали также и у космонавтов на 5–6-м месяцах полета [10]. Авторы считают, что эти изменения отражают возросшую эмоциональную напряженность и утомление. При обследовании космонавтов в этот период полета выявлена взаимосвязь фактора утомления и произвольного выражения эмоций. По мере увеличения длительности полета количество признаков эмоциональных реакций увеличивалось [11].

Наблюдения, проведенные на 6–7-м месяцах пребывания на станции «Восток», показали, что неврастенический синдром начал постепенно переходить в астенический. В этот период зимовки полностью отсутствовал интерес к выполняемой работе. Тем не менее по данным различных тестов установлено, что снижения умственной работоспособности в это время не было, однако выполняемая работа стала утомлять в большей степени, чем раньше. Настроение у обследуемых стало отличаться неуравновешенностью, возникли признаки раздражительной слабости. Общий жизненный и психический тонус заметно понизились. В конце 7-го месяца изоляции вновь стали часто возникать конфликтные ситуации и споры. Некоторые высказывали свои недовольства тем или иным положением дел на станции в адрес начальника станции. Скрытая неприязнь в ряде случаев перерастала в открытую. Взаимоотношения между отдельными полярниками значительно ухудшились. Причиной этого уже служили не только какие-то неурядицы по работе, но и мотивы личного порядка.

Следует отметить, что расстройств сна в полярную ночь, т.е. в середине зимовки, практически не наблюдали. Наоборот, увеличилась потребность в более продолжительном сне, а сам сон у многих стал более глубоким, чем раньше.

*8-й месяц изоляции.* Астения развивалась практически у всех без исключения, но степень ее выраженности была различной. Так, у большинства обследуемых экспериментальной группы отчетливые симптомы астении стали проявляться лишь в конце 7-го месяца, а у лиц контрольной группы значительно раньше. По-разному проявлялись отдельные симптомы астении у лиц обеих групп, у обследуемых контрольной группы симптомы астенического синдрома были значительно разнообразнее. Учитывая такую динамику изменений нервно-психического состояния полярников, в августе, т.е. на 8-м месяце пребывания на станции, был проведен курс фармакокоррекции противоастенизирующим комплексом препаратов. Утром обследуемые экспериментальной группы получали фитин (0,25 г), липоцеребрин (0,5 г) и пангамат кальция (0,05 г); днем – тиамин бромид (0,001 г), метионин (0,2 г), аскорбиновую кислоту (0,2 г), пантотенат кальция (0,02 г), никотинамид (0,03 г) и рибофлавин (0,05 г); вечером – глутаминовую кислоту (0,5 г). Курс фармакокоррекции терапии продолжали 3 нед. Обследуемые контрольной группы получали плацебо.

*9-й месяц изоляции.* Через 2 нед после начала очередного курса фармакокоррекции и за 1 нед до восхода Солнца после 4-месячной полярной ночи наблюдали некоторое улучшение настроения, повышение жизненного тонуса. У обследуемых контрольной группы это было выражено в меньшей степени, хотя и на них приближение полярного дня оказывало определенное психологическое стимулирующее воздействие. Сам факт появления солнца после длинной полярной ночи привел к некоторым положительным изменениям в нервно-психическом состоянии полярников, хотя при ЭЭГ-исследованиях, проведенных сразу после окончания 3-недельного курса фармакокоррекции антиастеническим комплексом препаратов, было установлено, что в экспериментальной группе уменьшилось количество обследуемых с повышенной бета- и тета-активностью (см. табл. 2, А, В), а в контрольной группе количество обследуемых с повышенной бета-активностью (см. табл. 2, А) на 9-м месяце зимовки, наоборот, увеличилось по сравнению с исследованием в начальный период зимовки. Одновременно в контрольной группе увеличилось количество обследуемых с повышенной активностью спайков и острых волн (см. табл. 2, Б). Изменений тета-активности на ЭЭГ у полярников контрольной группы не произошло (см. табл. 2, В), зато количество обследуемых с повышенной дельта-активностью стало меньше (см. табл. 2, Г).

Из табл. 1 следует, что у обследуемых экспериментальной группы частота альфа-ритма на ЭЭГ на 9-м месяце зимовки, т.е. сразу после очередного курса фармакокоррекции, осталась практически такой же, как до ее начала. У обследуемых контрольной группы она по-прежнему была выше исходной. Амплитуда и индекс альфа-ритма на ЭЭГ обследуемых экспериментальной группы на данном этапе зимовки увеличились и стали такими же, как в исследовании на 4-м месяце зимовки, т.е. выше исходных значений. У обследуемых контрольной группы увеличение амплитуды альфа-ритма было намного больше, чем у обследуемых экспериментальной группы, зато альфа-индекс нормализовался.

*10-й месяц изоляции.* Хорошее, приподнятое настроение, обусловленное в основном наступлением нового этапа зимовки – восстановлением нормального светового ритма день – ночь, сохранилось до середины сентября. Во второй половине сентября и в первой половине октября у большинства полярников, преимущественно контрольной группы, наблюдали апатию, вялость, адинамию, повышенную обидчивость и агрессивность, некоторое снижение интереса к событиям внешней жизни, более быстрое утомление при выполнении работы по специальности. Общих обсуждений стало меньше, споры прекратились. Конфликтов тоже стало меньше, и возникали они только на рабочей почве. Антагонизм и личные антипатии опять приняли скрытый характер. Обследуемые стали замкнутыми и менее общительными.

*11-й месяц изоляции.* Во второй половине октября – первой половине ноября настроение заметно улучшилось, повысился жизненный тонус. Взаимоотношения в коллективе стали более доброжелательными. Нервозность внешне не проявлялась. Споры и ссоры были редкими. Мощными тонизирующими и стимулирующими факторами в этом месяце зимовки явились не только повторный курс фармакокоррекции антиастеническим комплексом фармакологических препаратов (1–14 ноября), но и выход из Ленинграда в Антарктиду дизель-электрохода «Обь», что означало скорое окончание годовой зимовки и возвращение домой.

*12-й месяц изоляции.* Этот период зимовки характеризовался общим подъемом активности в связи с подготовкой к отъезду. Расстройств сна не наблюдали. Споров и конфликтов не было. Электроэнцефалографические исследования, проведенные в этот период, показали уменьшение частоты альфа-ритма и его амплитуды как в экспериментальной, так и в контрольной группах обследуемых (см. табл. 1). На ЭЭГ обследуемых экспериментальной группы альфа-индекс увеличился, а на ЭЭГ обследуемых контрольной группы этот показатель практически вернулся к исходной величине (см. табл. 1). При анализе ЭЭГ обнаружено также

увеличение в контрольной группе количества обследуемых с повышенной активностью дельта-ритма (см. табл. 2, Г) и уменьшение количества обследуемых с повышенной активностью бета-ритма (см. табл. 2, А).

На 13-м, т.е. сверхплановом (по техническим причинам), месяце пребывания на станции «Восток» резко увеличилось нервно-эмоциональное напряжение, во время обычного разговора отмечались эмоциональные срывы и несдержанность. Взаимоотношения ухудшились. Вновь возникали споры, недовольство и единичные конфликты личного порядка. Появилась настороженность и неуверенность в скором окончании зимовки из-за тех же технических проблем. У некоторых обследуемых наблюдали повышение артериального давления.

Во время ежемесячных обследований лишь немногие полярники жаловались на ухудшение настроения или раздражительность. Только в результате пристального наблюдения за поведением полярников, а также подробных расспросов удалось получить довольно полное представление о динамике изменений в их нервно-психической сфере. Безусловно, описанные выше изменения, за исключением одного случая выраженной депрессии, не угрожали здоровью полярников и, следовательно, выполнению программы запланированных работ. Тем не менее применение некоторых нейро- и психотропных препаратов способствовало уменьшению выраженности этих нежелательных изменений.

Таким образом, у лиц, находившихся в течение длительного времени (12–13 мес) в условиях сенсорной и информационной недостаточности, обусловленной физической и социальной изоляцией микроколлектива, возникали функциональные изменения в ЦНС. Эти изменения являлись, на наш взгляд, неспецифическими и свидетельствовали о развитии нервно-психической астенизации. Определенный вклад в развитие этих изменений вносил и такой фактор зимовки на станции «Восток», как относительная гипокинезия.

Отчетливой связи возникновения тех или иных изменений нервно-психического статуса с сезонами антарктического года, в частности, с измененной естественной светопериодичностью суток, напряженностью геомагнитного поля, заметить не удалось. По-видимому, основным фактором, определяющим степень астенизации организма, являлась продолжительность пребывания в условиях изоляции, характеризующихся однообразием и монотонностью жизни в течение календарного года.

В.В. Борискиным (1961) высказано предположение, что ограничение сенсорных раздражителей и их недостаточная информативность в условиях полярных зимовок приводит к повышению чувствительности нервных центров к внешним раздражителям, что, по мнению автора, является

приспособительной реакцией ЦНС, направленной на увеличение поступления сигналов с периферии, необходимых для отправления высших психических функций и поддержания общего активного состояния коры головного мозга. На основании наших наблюдений и ЭЭГ-исследований мы не склонны рассматривать обнаруженные изменения как приспособительные. Скорее они свидетельствуют о функциональном нарушении регуляции корковых процессов возбуждения и торможения, на что указывают аналогичные результаты ЭЭГ-исследований лиц с астеническим неврозом [12].

Обнаруженные изменения в нервно-психической сфере полярников станции «Восток» носили фазовый характер с периодами снижения и нормализации жизненного тонуса. Общая направленность изменений характеризовалась постепенным развитием астении через стадии повышенной общей возбудимости (первые 2 мес), умеренно выраженной гиперстенической формы неврастении (3–6-й месяцы) и стадии умеренно выраженной раздражительной слабости с элементами гипостении (7–13-й месяцы). Если использовать понятия теории адаптации, то вышеупомянутые стадии можно назвать как стадию начальной адаптации к условиям жизни и работы на станции «Восток», стадию неполной компенсации и стадию истощения, т.е. снижения функциональных возможностей организма. Такую же стадийность динамики адаптационного состояния членов экипажа годового эксперимента «Марс-500» описал О.Г. Сорокин [13].

Применение фармакологических препаратов для профилактики и лечения астенизации в значительной степени ослабило развитие нежелательных изменений в нервно-психической сфере, что способствовало поддержанию оптимального функционального состояния организма в необычных условиях обитания.

Периодически проводимые ассоциативные словесные пробы показали, что в условиях изоляции не происходило оскудения семантической составляющей поведения и замедления темпа мышления. Память и способность концентрировать внимание не ухудшились. Однако практически у всех полярников к концу зимовки довольно значительно снизился интерес к своей профессиональной деятельности. Выполняемая работа стала утомлять в большей степени, чем раньше. Важно отметить, что проявления утомления регистрировались с одинаковой частотой и у космонавтов в начале, середине и конце полугодовых полетов [14]. Причинами утомления полярников станции «Восток» были в основном монотонность и однообразие труда и отдыха в связи с изоляцией. У космонавтов к этому еще добавлялась внекорабельная деятельность, сдвиги в графике сна, рабочие перегрузки. Следует также отметить, что у космонавтов во время полугодовых

полетов, так же как и у полярников в условиях годовой изоляции, психическая работоспособность и качество выполнения тестовых операций не ухудшились [15]. Не выявлено изменений психической работоспособности и у членов экипажа «Марс-500» в годовом эксперименте [16].

Использование нами гомеостатической методики выявило определенные сдвиги во взаимодействии полярников на разных этапах зимовки, однако барьер психической несовместимости успешно преодолевался без каких-либо серьезных последствий.

Таким образом, при длительном пребывании небольшого по численности коллектива в условиях изоляции на ст. «Восток» в Антарктиде возникают психофизиологические изменения, аналогичные тем, что выявляются в длительных космических полетах и в стендовых экспериментах с изоляцией. Однако описанные нами изменения, за исключением единичного случая реактивной депрессии, не носили угрожающего характера ни для здоровья полярников, ни для выполнения программы работ во время годовой изоляции на станции «Восток».

#### Выводы

1. По данным наблюдений и ЭЭГ-исследований изменения в нервно-психическом статусе практически здоровых лиц при годовом пребывании в условиях изоляции на станции «Восток» в Антарктиде носят фазовый характер со следующей динамикой развития: повышенная нервная возбудимость, умеренно выраженная гиперстеническая форма неврастении и, наконец, раздражительная слабость с элементами гипостении.

2. Для фармакокоррекции указанных изменений в нервно-психическом статусе полярников оказались эффективными следующие препараты, применявшиеся как отдельно, так и в различных комбинациях: аскорбиновая кислота, глицерофосфат кальция, тиамин бромид, глютаминовая кислота, фитин, липоцеребрин, пангамат кальция, метионин, пантотенат кальция, никотинамид, рибофлавин, элениум, триоксазин и мелипрамин.

3. Российская станция «Восток», расположенная в Центральной Антарктиде в условиях крайне сурового климата, может быть использована в качестве лаборатории (полигона) для исследований динамики функционального состояния, прогноза вероятных заболеваний и апробации перспективных средств профилактики применительно к длительным КП.

#### Список литературы

1. Борискин В.В. Жизнь человека в Арктике и Антарктике. Л., 1973.  
*Boriskin V.V. Life in Arctic and Antarctic. Leningrad, 1973.*

2. Бундзен П.В. Основные аспекты психофизиологических исследований в Антарктиде // Матер. конф. «Акклиматизация человека в условиях полярных районов». Л., 1969. С. 20–23.  
*Bundzen P.V.* The main issues of psychophysiological research in Antarctic // Proc. «Acclimatization of human in polar regions». Leningrad, 1969. P. 20–23.
3. Деряпа Н.Р. Природа Антарктики и акклиматизация человека. М.; Л., 1965.  
*Deryapa N.P.* Nature of Antarctic and human acclimatization. Moscow; Leningrad, 1965.
4. Тихомиров И.М. Биоклиматология Центральной Антарктиды и акклиматизация человека. М., 1968.  
*Tikhomirov I.M.* Bioclimatology of Central Antarctic and human acclimatization. Moscow, 1968.
5. Ильин Е.А., Усков Ф.Н. Медикаментозные способы нормализации нервно-психологического состояния человека при длительном пребывании в условиях изоляции, гипокинезии и гипоксии // Акклиматизация человека в условиях полярных районов. Л., 1969. С. 3.  
*Ilyin E.A., Uskov F.M.* Pharmacocorrection of neuropsychological status of human in conditions of isolation, hypokinesia and hypoxia // Proc. «Acclimatization of human in polar regions». 1969. Leningrad, P. 3.
6. Ильин Е.А. Изменения нервно-психического состояния и медикаментозные способы его нормализации в условиях зимовки на станции «Восток» // Мед. исслед. в арктических и антарктических экспедициях. Труды Арктического и антарктического НИИ. 1971. Т. 299. С. 7–12.  
*Ilyin E.A.* Changes of neuro-psychological status and its pharmacocorrection during the wintering at «Vostok» station // Medical research in Arctic and Antarctic expeditions. Proc. Arctic and Antarctic research institute. 1971. V. 299. P. 7–12.
7. Ильин Е.А., Поггенполь В.С. Депрессивный синдром и его возможные последствия в экспедиционных условиях // Матер. конф. «Акклиматизация человека в условиях полярных районов» Л. 1969. С. 2.  
*Ilyin E.A., Poggenpole V.S.* Depressive syndrome and its possible consequences in expedition // Proc. «Acclimatization of human in polar regions». Leningrad, 1969. P. 2.
8. Ильин Е.А., Поггенполь В.С. Оценка здоровья полярников станции Восток // Инф. бюл. Советская антаркт. экспедиция. 1970. № 78. С. 7.  
*Ilyin E.A., Poggenpole V.S.* Evaluation of «Vostok» polarman state of health // Information bulletin of Soviet Antarctic expedition. 1970. № 78. P. 7.
9. Шевченко О.И., Эстевес Байес М., Фернандес-Перес Л.Г., Кабана Дж.Дж. Исследование функционального состояния ЦНС космонавтов по показателям ЭЭГ и вызванным потенциалам в длительных космических полетах (эксперимент Кортекс) // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. 2002. Т. 2. С. 252–257.  
*Shevchenko O.I., Esteves Bies M., Fernandes-Peres L.G., Kabana J.J.* Study of functional state of cosmonaut CNS by EEG and evoked potentials in long duration space flights (experiment Cortex) // Orbital station «Mir». Space biology and medicine. 2002. V. 2. P. 252–257.
10. Иоханес Б., Шевченко О.И., Сальницкий В.П., Кирш К. Исследование типов психофизиологического реагирования, функционального состояния центральной нервной системы и операторской работоспособности космонавта на различных этапах эксперимента (до полета, в полете и после полета). Эксперимент «Регуляция» // Там же. С. 278–285.  
*Iokhanes B., Schevchenko O.I., Salnitsky V.P., Kirsh K.* Study psychophysiological types of reactions, functional state of Central Nervous System and working capacity of cosmonauts at different stages of experiment (before flight, in flight and after flight ). Experiment «Regulation» // Ibid. P. 278–285.
11. Козеренко О.П., Пономарева И.П. Медико-психологическое исследование состояния российских членов экипажей в полетах МКС-3 и МКС-5 на РС МКС // Международная космическая станция. Российский сегмент. Космическая биология и медицина. М., 2011. Т. 2. С. 189–196.  
*Kozerenko O.P., Ponomareva I.P.* Medico-psychological study of Russian crewmembers ISS-3 and ISS-5 aboard Russian segment of ISS // International Space Station. Russian segment. Space biology and medicine. Moscow, 2011. V. 2. P. 189–196.
12. Крейнндлер А. Астенический невроз. Бухарест, 1963.  
*Kreyndler A.* Asthenic neurosis. Bucharest, 1963.
13. Сорокин О.Г. Динамика адаптационного состояния членов экипажа в эксперименте «Марс-500» // Международный симпозиум по результатам экспериментов, моделирующих пилотируемый полет на Марс («Марс-500»). (23–25 апреля 2012 г.). М., 2012. С. 60–61.  
*Sorokin O.G.* Adaptability dynamic of crewmembers in experiment «Mars-500» // Proc. International symposium on results of experiments modeling piloted flight to Mars (Mars-500). (23–25 April 2012). Moscow, 2012. P. 60–61.
14. Степанова С.И., Савченко Э.Г., Лаврентьева И.Н. и др. Психическое состояние членов экипажей МКС // Международная космическая станция. Российский сегмент. Космическая биология и медицина. М., 2011. Т. 2. С. 175–188.  
*Stepanova S.I., Savchenko E.G., Lavrent'eva I.N. et al.* ISS crewmembers' mental state // International Space Station. Russian segment. Space biology and medicine. Moscow, 2011. V. 2. P. 175–188.
15. Иоселиани К.К., Пономарева И.П., Козеренко О.П. и др. Исследование психической работоспособности космонавтов на ОС «Мир» (Эксперимент «Прогноз») // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. М., 2002. Т. 2. С. 258–263.  
*Ioseliani K.K., Ponomareva I.P., Kozerenko O.P. et al.* Study of cosmonauts' mental capacity aboard «Mir» orbital station (Experiment «Prognosis») // Orbital station «Mir». Space biology and medicine. Moscow, 2002. V. 2. P. 258–263.
16. Рыжов Б.Н., Кожина О.В., Чибисова О.В. Исследование психической работоспособности и

мотивации в условиях длительной автономной изоляции // Международный симпозиум по результатам экспериментов, моделирующих пилотируемый полет на Марс («Марс-500»). (23–25 апреля 2012 г.). М., 2012. С. 54.

*Ryzhov B.N., Kozhinova O.V., Chibisova O.V.* Study of mental working capacity and motivation in long duration autonomous isolation // Proc. International symposium on results of experiments modeling piloted flight to Mars (Mars-500). (23–25 April 2012). Moscow, 2012. P. 54.

Поступила 12.07.2017

**THE PSYCHOLOGICAL STATUS OF THE  
POLAR EXPLORERS  
AND ITS PHARMACOCORRECTION IN  
CONDITIONS OF ANNUAL ISOLATION  
AT «VOSTOK» STATION IN ANTARCTICA**

**Ilyin E.A.**

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).  
2017. V. 51. № 4. P. 5–14

УДК 61:613.693

## ВОПРОСЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПОЛЕТОВ

**Рюмин О.О.**

Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, Звездный городок, Московская обл., Россия

E-mail: O.Ryumin@gctc.ru

*Рассматриваются вопросы психологического обеспечения пилотируемых межпланетных полетов на всех этапах (отбор, подготовка, полет и послеполетная реабилитация членов экипажа). Описаны группы рисков межпланетных полетов, связанных с психикой человека и возможные результаты их проявлений. Указываются отличия психологического восприятия человеком орбитального и межпланетного космического полета. Излагаются предложения по корректировке существующей системы психологического обеспечения деятельности космонавтов на всех этапах. Описываются необходимые элементы для отбора кандидатов межпланетных экспедиций, их подготовки, сопровождения в полете и послеполетной реабилитации и социальной адаптации. Предлагается использовать в комплексе психологической поддержки экипажа средства управляемой виртуальной среды и антропоморфных робототехнических систем. Рассматриваются психологические качества необходимые командиру межпланетного экипажа.*

Ключевые слова: межпланетные полеты, космический экипаж, психологическое обеспечение, отбор, подготовка, психологическая поддержка, реабилитация.

Авиакосмическая и экологическая медицины. 2017. Т. 51. № 4. С. 15–20.

**DOI:** 10.21687/0233-528X-2017-51-4-15-20

Многие годы интерес специалистов космической психологии и медицины привлекают вопросы пилотируемых полетов к другим планетам [1–4]. Исследуются различные вопросы, в том числе и касающиеся психического состояния человека как в условиях длительных модельных экспериментов, так и в реальных космических полетах (КП) [5–8]. В связи с нынешним уровнем развития космической техники они начинают приобретать практическое значение. Предметно в натурных экспериментах исследуются организация и психологическое обеспечение межпланетных экспедиций [9, 10]. Известно, что существует неразрывная связь между психическим здоровьем космонавтов и эффективностью их деятельности по выполнению конкретных полетных операций и реализацией программы полета в целом. Анализ данных, полученных в ходе

полетов на долговременных орбитальных станциях «Салют», «Мир» и Международной космической станции (МКС), показал отсутствие выраженных негативных изменений со стороны психики космонавтов [11]. Среди всех нештатных ситуаций, возникших в полете и относящихся к так называемому человеческому фактору, по частоте возникновения они составили менее 18 % от общего количества. Частота упоминаний о случаях развития проблем с психическим здоровьем, возникших в ходе полета, была низкой, а чаще отсутствовала вовсе. Однако фактическая распространенность таких нештатных ситуаций могла быть в ряде случаев недооценена из-за нежелания космонавтов сообщать о них. Все это не исключает вероятность развития серьезных психологических проблем во время осуществления межпланетных экспедиций ввиду целого ряда их отличий от орбитальных полетов. При проведении наземных модельных экспериментов все члены экипажей отмечали, что самой большой проблемой в ходе таких длительных испытаний было психологическое состояние. Одновременно все участники самого продолжительного в истории исследования («Марс-500», Россия) на заключительном его этапе выглядели вялыми и скучными [12].

При рассмотрении вопросов психологического обеспечения космических экспедиций для межпланетных полетов необходимо учитывать следующие исходные данные:

1. Успешность функционирования человека в межпланетном полете в большой степени будет зависеть от полноты и адекватности мероприятий психологического обеспечения деятельности космонавтов на каждом из его этапов (отбора и подготовки, формирования экипажа, поддержания благоприятного психологического климата в полете). Особое значение приобретает психологическая реабилитация и социальная адаптация космонавтов после возвращения на Землю.

2. Отсутствие до настоящего момента информации о состоянии психики человека при межпланетных полетах, за исключением сведений из открытых материалов НАСА о перелетах американских

астронавтов по трассе Земля – Луна – Земля в рамках программы «Аполлон» [13, 14].

3. Невозможность осуществления адекватного натурального моделирования условий подобных экспедиций в наземных условиях и несовпадение психологической модели орбитального и межпланетного полетов.

4. Отсутствие в настоящее время точных сведений о характеристиках межпланетного космического корабля, условиях обитания человека на его борту, численности экипажа и его структурном составе, циклограмме деятельности, аппаратурном обеспечении жизнедеятельности космонавтов и т.д.

Необходимо также отметить отсутствие опыта психологического обеспечения подобных экспедиций. Проводимые до настоящего времени исследования фактически сводятся к изучению влияния на организм космонавта невесомости и других факторов, поведенческих реакций человека в процессе орбитального полета различной продолжительности [15, 16]. При этом особо следует учитывать несовпадение психологической модели орбитального и межпланетного полетов. Ключевым значением при этом, на наш взгляд, является не длительность полета, а его направленность (полет не «вокруг», а «от» Земли). Сильнейшим стрессором для психики в данном случае будет потеря психологического «якоря», непосредственного визуального контакта с Землей. Вместо привычной для космонавта динамичной картины подстилающей поверхности родной планеты со знакомыми очертаниями материков и океанов, возможностью наблюдать за территорией своей страны, ее природными и техногенными ландшафтами перед глазами членов экипажа межпланетной экспедиции в иллюминаторе будет неподвижная картина бесконечного звездного неба.

В настоящий момент при выполнении межпланетных космических полетов выделяют 4 группы рисков [17], связанных с психической сферой человека. К их числу относятся:

- риск развития психических расстройств, связанных с воздействием радиации;
- риск развития ошибочных действий, вызванных недостатком сна, утомлением, десинхронизмом и избыточной рабочей нагрузкой;
- риск развития неблагоприятных поведенческих и психиатрических состояний/заболеваний, вызванных комплексным воздействием факторов полета;
- риск развития негативных ситуаций, обусловленных низким уровнем группового взаимодействия и сотрудничества, связанных с неадекватностью отбора/комплектования команды, несоответствия подготовки космонавтов/экипажа и низкой психологической адаптацией.

Результатом проявлений этих рисков могут быть снижение эффективности деятельности,

крат-косрочные и долгосрочные изменения поведения и нарушение психического здоровья космонавтов; также нельзя исключить появление новых рисков подобных экспедиций. Среди множества особенностей/факторов межпланетного полета, формирующих данные риски, ведущее негативное значение/проявление для психики космонавта занимают следующие:

1. Замкнутое пространство обитания с сужением границ «личного» пространства, социальной дистанции и развитием эффекта «автобусной давки» (нарастание напряжения, раздражительности и агрессивности). В случае длительного действия эффект проявляется в снижении потребности в общении с коллегами по экипажу, вплоть до полного разрыва коммуникативных каналов между ними.

2. Относительная социальная изоляция. Следствием этого является утрата важных психических связей с привычным кругом общения (родными, близкими, коллегами, друзьями и др.), «ролевая депривация» или потеря ряда социальных ролей (отца, коллеги по работе, начальника, партнера по клубу и пр.), привычных социальных процессов. Происходит резкое ограничение непосредственного социального окружения космонавта, по типу «насильственной коммуникации».

3. Чувство отрыва от Земли, присутствие так называемого феномена «break-off» (оторванности, отрешенности), выражающегося в растерянности и мрачных предчувствиях ввиду отсутствия ранее упомянутого психологического «якоря».

4. Постоянная реальная угроза для жизни (радиация, метеориты, вероятность опасного контакта с новыми формами жизни и др.), а также состояние тревоги и настороженности при этом способны приводить к развитию разнообразных фобий. Так, космонавтов, впервые участвующих в межпланетной миссии, может обуять страх неизведанного — один из самых распространенных, разрушительных и опасных страхов. При этом на психофизическом уровне известные реакции «бежать или бороться» (fright or fight) происходят в организме хаотично и перемененно, что может привести к дисбалансу в работе организма, а в результате самым серьезным и трагичным последствиям.

5. Абсолютная автономность функционирования и невозможность осуществления связи с наземными службами управления полетом в реальном масштабе времени. Необходимость самостоятельного оперативного принятия решения при возникновении нештатных и аварийных ситуаций.

6. Монотонность выполняемой работы, а в определенные периоды полета полное ее отсутствие. Острый дефицит значимых впечатлений, психологических событий, информационный «голод» приводят к насыщению космонавтов недостающими впечатлениями за счет повышенного внимания

к мельчайшим деталям любых событий (реальных или домысленных).

7. Безусловное и первостепенное значение совместимости членов экипажа, подлежащее оценке на самых ранних этапах его назначения и формирования в процессе подготовки. Необходимость оперативного принятия управленческих решений по выводу из состава команды лиц, негативно влияющих на ее функционирование и жизнедеятельность.

8. Отсутствие доказательных данных об устойчивости психики человека к осмыслению момента после ухода с земной орбиты и осознанию невозможности экстренной посадки (преодоление точки «невозврата»). При этом космонавты должны быть готовы адаптироваться к этим условиям, уметь быстро сориентироваться в этой новой ситуации и продолжать все необходимые и упорядоченные эффективные действия по выполнению программы полета.

9. Возникновение доминирующего чувства ностальгии при длительном пребывании в условиях экспедиции и работе в составе экипажей инопланетных баз и др.

Существующая в настоящее время система психологического обеспечения космических экипажей эффективно служит для полетов на околоземной орбите и потребует, на наш взгляд, определенной коррекции с учетом особенностей, предъявляемых условиями межпланетных полетов. При этом особо актуальным будет первый его этап – отбора, что потребует более глубокого анализа сведений о претендентах. Первостепенное значение здесь имеет оценка профессионально важных психологических качеств человека, обеспечивающих его надежную и эффективную деятельность в условиях автономного полета. В числе неблагоприятных свойств и качеств у кандидатов можно назвать такие, как отсутствие устойчивой мотивации, черты слабого типа высшей нервной деятельности, неадекватный уровень личных притязаний, тревожность с психической напряженностью, внушаемостью и мнительностью, эгоцентрическая направленность личностных интересов, неспособность работать качественно и продуктивно в условиях дефицита времени, низкая помехо-устойчивость, конфликтность, замедленность и неточность сенсомоторной координации, снижение памяти, эмоциональная неустойчивость и др. Особое внимание с точки зрения ряда специалистов необходимо уделять личностным особенностям, поведению претендентов. Так, по их мнению, экстраверты – не лучшие кандидаты для дальних КП. В составе длительных межпланетных миссий их присутствие на борту может создать ряд проблем им самим и их коллегам. Если в экипажах орбитальных станций экстраверты считаются ценными членами, способствующими сплочению команды, то их общительность при длительном нахождении людей

в ограниченном пространстве является серьезным недостатком. Общительность, эмоциональность и стремление к поддержанию постоянного контакта с коллегой по экипажу в данной ситуации может восприниматься как навязчивость и надоедливость, а в конечном результате приводит к раздражению, негативным поведенческим реакциям со стороны оппонента, вплоть до прекращения коммуникации с ним.

Следующим важным этапом в организации и выполнении межпланетного КП является подготовка космонавтов (индивидуальная, в составе групп и экипажей). Она представляет собой совокупность мероприятий, направленных на постоянное изучение и развитие профессионально важных психологических качеств космонавта, необходимых для успешной профессиональной деятельности в специфических условиях обитания, включая усложненные и нестандартные ситуации, с целью формирования психологической его готовности к полету. В общем виде задачи психологической подготовки состоят в создании психологических условий, способствующих личностному и профессиональному росту, успешности подготовки в целом и реализации программы полета; формировании и развитии социально-психологических навыков, обеспечивающих эффективное взаимодействие в экипаже (в том числе и международном), выработке у космонавтов нервно-психической устойчивости и надежности операторской деятельности в условиях воздействия неблагоприятных факторов полета и адекватного реагирования при встрече с неизвестными формами и событиями, сохранении и укреплении психического здоровья. Важным отличием для межпланетных экспедиций, на наш взгляд, является целесообразность начала формирования экипажей с начальных фаз подготовки космонавтов. Так, в процессе общекосмической подготовки кандидатов в космонавты стандартное индивидуальное испытание нервно-психической устойчивости в условиях изоляции и депривации сна следует дополнить подобным исследованием в составе группы. С учетом автономности функционирования экипажа в процессе экспедиции большая роль в подготовке космонавтов должна отводиться их обучению навыкам поддержания, восстановления и управления своим физиологическим и психическим состоянием. Среди таких методов целесообразно отметить технику йоги, которая помогает справиться с многочисленными стрессами полета, аутогенную тренировку и прочие средства сохранения и восстановления работоспособности человека. Особое место здесь должны занять тренировки космонавтов, базирующиеся на принципах использования биологической обратной связи (БОС), широко применяемые в последние десятилетия в различных областях деятельности человека.

В межпланетном полете существенное отличие от орбитального приобретают мероприятия по мониторингу и оценке психического состояния космонавтов, их психологической поддержке и сохранению необходимых на протяжении всего полета профессиональных навыков. Если экипажи орбитальных экспедиций находятся под непрерывным наблюдением специалистов наземной группы медицинского обеспечения, включая психоневрологов и психологов, то при полетах вне низких орбит данный процесс будет затруднен, а порой и вовсе невозможен. При появлении начальных симптомов психического расстройства/заболевания в околоземных полетах всегда имеется возможность срочно вернуть космонавта на Землю. В межпланетном полете это невыполнимо, а такой человек является не просто профессионально несостоятельным, но и потенциальным источником напряженности в экипаже. Создается реальная угроза безопасности полета и выполнению программы экспедиции в целом. Возникает необходимость включения в состав межпланетного экипажа штатного врача, сертифицированного в области клинической психологии и оснащенного необходимыми средствами и оборудованием.

Сохранение благоприятного психического состояния участников межпланетной экспедиции, создание оптимальных условий их деятельности, предупреждение психоэмоционального перенапряжения, поддержание благоприятного климата в экипаже и обеспечение позитивной психологической установки на КП должно реализовываться системой психологической поддержки. Психологическая поддержка предусматривает использование комплекса средств, направленных на компенсацию негативных эффектов от длительного пребывания в искусственной среде обитания, изоляции, ограничения внешних впечатлений, монотонности обстановки и отрыва от привычного социума. Следует учесть, что музыка, книги, развлечения не спасут от переживаний, тоски по дому, неизвестности полета в космической бездне. Необходимы занятия «для головы и рук», не придуманные, не навязанные, а предложенные исходя из потребностей самого космонавта, те, которые были заложены в детстве и в дальнейшем развиты собственными его усилиями. В межпланетных полетах психологическая поддержка должна обеспечить возможности создания на космическом корабле управляемой виртуальной среды для насыщения жизни членов экипажа земными впечатлениями (аудиовизуальными, тактильными и др.). Являясь продуктом информационных и психологических технологий, виртуальная среда позволит создавать в полете контролируемые ситуации как нереального, так и «земного» мира. Пластично менять параметры объектов и происходящих с ними событий, имитировать одновременно зрительные, тактильные и слуховые образы. Отдельно следует

отметить психотерапевтические возможности подачи данной информации, представляемые средствами виртуальной реальности. Они на совершенно другом уровне высокодетального моделирования трехмерной реальности повышают эффект присутствия человека в искусственной информационной среде, позволяют более полно имитировать присутствие в родных местах, общение с близкими людьми, посещение знаменитого музея, процесс рыбной ловли в компании друзей и др. Это представляется особенно ценным именно для космонавта, остро испытывающего в автономном длительном полете феномен «отрыва от Земли». Под «отрывом» исследователи, описавшие это явление [18], рассматривают вероятность возникновения, по мере удаления от Земли снижения рабочей мотивации и общей активности экипажа, игнорирования указаний Центра управления полетом и преобладания самостоятельности в принятии решений, излишней переоценке своих возможностей. Происходит это на фоне прогрессирующего нарастания у космонавтов чувства изолированности и тоски по оставшимся на Земле родным и близким. Данный феномен был детально изучен и нашел убедительное подтверждение в ходе уникального модельного эксперимента «Марс-500» [19]. Необходимыми элементами психологического обеспечения в полете следует упомянуть рациональное построение циклограммы суточной деятельности членов экипажа с обязательным включением творческой и рекреационной деятельности, оснащение корабля средствами профилактики и коррекции психического состояния членов экипажа с использованием прогрессивных технологий: комплексов биологической обратной связи, средствами поддержания профессиональных навыков, антропоморфных робототехнических систем (АРТС) [20]. Мы полагаем, что АРТС должны иметь следующие специальные возможности:

- распознавание и частотный анализ речи (с целью определения эмоционального состояния космонавта);
- распознавание образов (положение, поза, мимика);
- синтез речи (для имитации устного общения);
- аудио- и видеозаписи;
- наличие собственного резервного канала связи с ЦУП;
- работа в 2 режимах: групповом (взаимодействие с несколькими членами экипажа) и конфиденциальном (индивидуальное взаимодействие с космонавтом);
- индивидуализация (возможность изменения модели коммуникативного поведения робота, тембра синтезированной речи в соответствии с предпочтениями и личностными особенностями космонавта) и др.

Выполнение космонавтом профессиональных задач в экстремальных условиях межпланетного космического полета сопряжено с перенесением чрезвычайных стрессовых нагрузок. Высока вероятность возникновения дезадаптационных расстройств, что впоследствии может оказать существенное негативное влияние на его здоровье и профессиональное долголетие. Особую актуальность ввиду этого приобретает психологическая реабилитация космонавтов, направленная на скорейшее восстановление оптимального психического состояния и профессиональной работоспособности членов космического экипажа, а также их реадaptацию к условиям обычной жизни и социальным связям. Эффективность организации и проведения данного элемента в общей системе психологического обеспечения экипажей межпланетных миссий непосредственно влияет на профессиональное долголетие космонавтов, возможность их последующего быстрейшего назначения в составы подобных экспедиций. В комплексе реабилитационных мероприятий важное место должно отводиться вопросам социальной реабилитации и адаптации, не имеющих острой актуальности при полетах на низких орбитах. В зависимости от характера и содержания социальных или личностных проблем, в которые будут вовлечены люди, выполнившие межпланетный полет, будет формироваться и содержание решаемых задач. В первом приближении они могут состоять в восстановлении или формировании у человека новых навыков полноценной «забытой» земной жизни, оптимизации внутригрупповых связей и отношений, восстановлении у человека чувства социальной значимости внутри данной новой для него социальной среды и др.

Отдельным вопросом в ряду важнейших элементов психологического обеспечения экипажа межпланетной экспедиции стоит подбор и назначение его командира. Роль командира в успешном выполнении программы полета, обеспечении безопасности и результативности работы экипажа, слаженности и бесконфликтности его членов в этом случае приобретает еще большее значение по сравнению с орбитальными полетами. В условиях автономного длительного полета он принимает окончательное решение по всем вопросам, будь то плановая операция или устранение последствий внештатной/аварийной ситуации на борту. Командир руководит действиями команды, решает все проблемы в полете, разбирается во всех деталях устройства корабля и его технического оснащения, поддерживает рабочую атмосферу и психологический климат в экипаже. Исходя из этого, командиру всегда нужно быть готовым к неожиданностям и принятию эффективного решения в условиях дефицита времени и быстроменяющейся обстановки. Это лидер, умеющий управлять людьми, способный найти подход к

каждому члену экипажа, оставаясь доброжелательным, но в то же время требовательным. Важными для него будут способность сосредоточиваться, способность переносить физические и психологические нагрузки и чувство отдаленности, готовность к принятию решения, постоянство и точность и многие другие качества, которые необходимо выявить у претендента на должность командира экипажа при отборе в космонавты и развить их на этапе подготовки. Целесообразно учитывать его мнение при формировании персонального состава экипажа, а в определенных ситуациях оставлять за ним право окончательного решения. Безусловно, командир должен быть высоконравственным, порядочным, честным человеком, имеющим неоспоримый авторитет у коллег по экипажу и осознающим планетарное значение миссии экспедиции.

#### Выводы

1. Одним из важнейших условий выполнения успешной межпланетной пилотируемой экспедиции является создание адекватной особенностям полета системы психологического обеспечения космонавтов. Это связано с еще большей значимостью в сравнении с орбитальным полетом роли психологического фактора такой экспедиции на всех ее этапах (отбора космонавтов и их подготовки, назначения командира и формирования экипажа, психологического мониторинга и поддержки в полете, послеполетной реабилитации и адаптации).

2. При проведении межпланетной экспедиции значительно возрастает роль и ответственность командира экипажа, что, естественно, повышает актуальность и требования к качеству его подбора и подготовки.

3. В основу отбора и подготовки космонавтов для межпланетного полета может быть положена эффективная и проверенная в длительных орбитальных полетах система психологического обеспечения космических экипажей, однако эта система потребует коррекции с учетом упомянутых особенностей межпланетных миссий, а также внедрения на всех этапах ее функционирования современных инновационных технологий.

#### Список литературы

1. *Леонов А.А., Лебедев В.И.* Психологические проблемы межпланетного полета. М., 1975.  
*Leonov A.A., Lebedev V.I.* Psychological problems of interplanetary flight. Moscow, 1975.
2. *Хрунов Е.В., Хачатурьянц Л.С., Попов В.А., Иванов Е.А.* Человек-оператор в космическом полете. М., 1974.  
*Khrunov E.V., Khachatur'yants L.S., Popov V.A., Ivanov E.A.* Human-operator in space flight. Moscow, 1974.

3. *Stambler I.* Lunar bases // *Space Aeronaut.* 1963. V. 40. № 7. P. 60–67.
4. *Sohn R.L.* Future manned planetary missions // *J. Astronaut. Sci.* 1967. V. 14. № 5. P. 200–211.
5. Юсупова А.К., Гуцин В.И., Ушаков И.Б. Коммуникации космических экипажей в реальных и моделируемых космических полетах. М., 2012.  
*Yusupova A.K., Gushchin V.I., Ushakov I.B.* Communication of space crews in real and simulated space flights. Moscow, 2012.
6. Модельный эксперимент с длительной изоляцией: проблемы и достижения. М., 2001.  
*Simulated experiment with long-term isolation: problems and achievements.* Moscow, 2001.
7. *Kanas N.* Psychological support for cosmonauts // *Aviat. Space Environ. Med.* 1991. V. 63. P. 353–355.
8. *Nicogossian A.E., Huntoon C.L., Pool S.L.* *Space Physiology and Medicine.* 3rd ed. 1994.
9. Оценка уровня здоровья при исследовании практически здоровых людей. М., 2009.  
*Assessment of the level of health in practically healthy people.* Moscow, 2009.
10. Григорьев А.И., Моруков Б.В. «Марс-500»: Предварительные итоги // *Наука в России.* 2012. № 3. С. 4–11.  
*Grigoriev A.I., Morukov B.V.* «Mars-500»: Preliminary results // *Nauka v Rossii.* 2012. № 3. V. 4–11.
11. Космическая биология и медицина // Орбитальная станция «Мир»: В 2 т. М., 2001.  
*Space biology and medicine // Orbital station «Mir»: in 2 v.* Moscow, 2001.
12. Рыжов Б.Н., Чибискова О.В. Психологическая работоспособность человека при моделировании полета на Марс // *Системная психология и социология.* 2015. № 16. С. 12–18.  
*Ryzhov B.N., Chibiskova O.V.* Human psychological performance in modeling flight to Mars // *Sistemnaya psikhologiya i sotsiologiya.* 2015. № 16. P. 12–18.
13. *Space biology and medicine // Humans in spaceflight / A.E. Nicogossian, S.R. Mohler, O.G. Gzenko, A.I. Grigoriev,* eds. V. III. B. 1. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996.
14. *Scheuring R.A., Jones J.A., Polk J.D. et al.* The Apollo medical operations project: recommendations to improve crew health and performance for future exploration missions and lunar surface operations. 2007.
15. Мясников В.И., Степанова С.И., Сальницкий В.П. и др. Проблемы психической астенизации в длительном космическом полете. М., 2000.  
*Myasnikov V.I., Stepanova S.I., Sal'nitskiy V.P.* Problems of mental asthenia in a long space flight. Moscow, 2000.
16. *Stuster J.W.* Behavioral issues associated with long-duration space expeditions: Final report. NASA, JSC. Houston, 2010. P. 16.
17. Banks Akeem Astronaut biography project for countermeasures of human behavior and performance risks in long duration space flights // *USRP – Internship Final Report.* NASA, JSC. Houston. 2012. P. 12.
18. *Kanas N., Manzey D.* *Space psychology and psychiatry.* 2nd ed. El Segundo. California, 2008.
19. Ушаков И.Б., Моруков Б.В., Бубеев Ю.А. и др. Основные результаты психофизиологических исследований в эксперименте «Марс-500» // *Вестник РАН.* 2014. Т. 84. № 3. С. 212–221.  
*Ushakov I.B., Morukov B.V., Bubeev Yu.A.* The main results of psychophysiological studies in the «Mars-500» experiment // *Vestnik RAN.* V. 84. № 3. P. 212–221.
20. Сорокин В.Г., Гуцин В.И., Швед Д.М., Рюмин О.О. Некоторые аспекты психологической поддержки космонавтов с помощью антропоморфных робототехнических систем в длительном автономном космическом полете // *Пилотируемые полеты в космос.* 2016. № 2. С. 91–105.  
*Sorokin V.G., Gushchin V.I., Shved D.M., Ryumin O.O.* Some aspects of psychological support of cosmonauts by means of anthropomorphic robotic systems in a long-term autonomous space flight // *Pilotiruemye polety v kosmos.* 2016. № 2. P. 91–105.

Поступила 05.04.2017

## **SOME ISSUES OF THE PSYCHOLOGICAL SUPPORT TO PILOTED INTERPLANETARY MISSIONS**

**Ryumin O.O.**

*Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).* 2017. V. 51. № 4. P. 15–20

*Under discussion are some issues of psychological support on all the stages of piloted interplanetary mission including crew assignment, preparation, travel and post-mission rehabilitation. Categories of risks to the human mental work and behavior and their possible displays are elaborated. Differences in psychological perception of low Earth orbit (LEO) and remote missions are pinpointed. Ideas of improving the existing system of cosmonaut's psychological support to be equal to the challenges of remote missions by integration, specifically, such elements as controlled virtual reality and anthropomorphic robotics, and social adaptation on return are proposed. Traits essential to the crew commander are examined.*

Key words: interplanetary mission, space crew, psychological support, selection, preparation, rehabilitation.

УДК 612+612.46+612.461

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ СОЛЕПОТРЕБЛЕНИЯ НА ЭКСПРЕССИРУЕМЫЕ В ЭНДОТЕЛИИ БЕЛКИ МОЧИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ 105-СУТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Каширина Д.Н.<sup>1</sup>, Пастушкова Л.Х.<sup>1</sup>, Кононихин А.С.<sup>1,3,4</sup>, Тийс Е.С.<sup>2</sup>, Доброхотов И.В.<sup>1</sup>, Носовский А.М.<sup>1</sup>, Николаев Е.Н.<sup>3,4</sup>, Ларина И.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск

<sup>3</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва

<sup>4</sup>Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе РАН, Москва

E-mail: daryakudryavtseva@mail.ru

*Для анализа влияния длительной изоляции на белки мочи, экспрессируемые в эндотелии, выполнено хромато-масс-спектрометрическое исследование белкового состава образцов мочи 6 добровольцев, участников комплексного эксперимента с изоляцией в гермообъекте в течение 105 сут. Их жизнедеятельность в гермообъекте протекала при контролируемом, но директивно изменяющемся режиме потребления соли от 6 до 12 г/сут. Использовались современные методы протеомики наряду с различными биоинформационными подходами. Всего в моче идентифицировано 2037 белков. Среди выявленных протеинов определено 164 белка, экспрессируемых преимущественно эндотелиальными клетками сосудов человека. Определена корреляция частоты их выявления с уровнем солепотребления в каждый экспериментальный период. Показано, что частота выявления бета-амилоида, эндосиалина, белка CD90, N субъединицы тетрамерного фермента лактатдегидрогеназы имели достоверный уровень линейной корреляции с уровнем солепотребления. Через открытые базы данных произведена ручная аннотация наиболее значимых с точки зрения функций эндотелия белков. Полученные данные свидетельствуют о незначительном воздействии комплекса факторов длительной изоляции на функциональное состояние эндотелия.*

Ключевые слова: гиподинамия, солепотребление, протеом мочи, изоляция, здоровые люди.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 4. С. 21–27.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-21-27

Целью исследований в замкнутых гермообъектах, моделирующих воздействие отдельных факторов космического полета (КП) на организм человека, являлись развитие и отработка систем жизнеобеспечения, а также средств и методов, направленных на сохранение здоровья, высокого уровня физической и психической работоспособности. Ранее было показано, что изменения метаболизма, обнаруженные у здоровых добровольцев

в условиях длительной изоляции, частично имеют направленность, сходную с таковыми после КП (тенденция к снижению уровня энергетического, белково-азотистого и нуклеинового обмена), но с поправкой на отсутствие перераспределения жидких сред организма, имеющих место в невесомости (снижение активности ферментов поджелудочной железы, желудочно-кишечного тракта, печени, в отличие от их повышения после КП) [1]. Такие изменения характерны для гиподинамии. С ее влиянием связывают тенденцию к снижению активности основного фермента энергообмена ЛДГ (лактатдегидрогеназы), а также уменьшение активности общей и панкреатической липазы, амилазы и гамма-глутамил трансферазы, что отражает снижение функции желудочно-кишечного тракта и печени при уменьшении двигательной активности [1].

Отмечено также, что у добровольцев в 105-суточной изоляции наблюдался начальный процесс структурного ремоделирования сердца, а именно перестройка объемов его левых полостей, что также вызывает относительную гипертрофию стенок камеры левого желудочка. Кроме того, происходит нарушение диастолической функции сердца, проявляющееся нарушениями раннего диастолического наполнения левого желудочка [2]. Наблюдаемые изменения сердечно-сосудистой системы могут быть следствием гиподинамии, которая также является одним из важнейших факторов, влияющих на состояние эндотелиальной функции. Поэтому нам представлялось важным исследовать белки, участвующие в осуществлении функций эндотелия, в эксперименте с длительной изоляцией.

Эндотелий представляет собой монослой клеток, выстилающий внутреннюю поверхность сосудов, который является аутокринным, паракринным и эндокринным органом с многочисленными регуляторными функциями. Дисфункция эндотелия, нарушение баланса биологически активных веществ, синтезируемых эндотелием, развивается

при действии ряда факторов: сахарном диабете, курении, артериальной гипертензии, гиперхолестеринемии и др. Эндотелиальная дисфункция, как полагают, является основной причиной развития атеросклероза [3].

В эксперименте с длительной изоляцией, выполненном по программе «Марс-105», помимо гиподинамии, действовал еще один фактор – разные уровни солепотребления. Избыток потребления соли является независимым фактором риска развития сердечно-сосудистых заболеваний [4]. Вредные эффекты избыточного потребления соли в организме человека, как правило, связаны с повышением артериального давления (АД). Однако недавние экспериментальные данные на животных показали, что соль также повреждает органы-мишени [5] и вызывает нарушение функции эндотелия сосудов во время солевой нагрузки [6], причем эти эффекты не зависели от изменений АД.

Непрерывно совершенствующиеся методы протеомики на основе масс-спектрометрического анализа, пополнение новыми данными баз биологической информации открывают большие возможности для выявления белков, экспрессия генов которых затрагивается в ходе развития патологического процесса. Таким образом, целью данной работы было исследование влияния условий длительной изоляции в гермообъеме на экспрессию эндотелиальных белков на основе данных о белковом составе мочи, полученных протеомными методами.

#### *Методика*

Объектом исследования служили образцы мочи 6 добровольцев в возрасте от 26 лет до 41 года, которые жили в условиях изоляции в гермообъекте в течение 105 сут, находясь в одинаковых контролируемых условиях. Уровень физической активности во время экспериментов с изоляцией, как правило, низкий [7]. В ходе эксперимента в разные периоды были использованы тренировки с низкочастотной электромиостимуляцией (3 ч в день), с высокочастотной стимуляцией (40 мин в день) и тренировки на резистивном силовом тренажере (30 мин в день). Также каждый день испытуемыми выполнялась тренировка на велоэргометре продолжительностью до 30 мин. Обследуемые получали стандартный рацион с контролируемым и нормируемым на массу тела содержанием всех нутриентов. Общие условия проведения комплексных испытаний, циклограмма исследований, научно-практические цели экспериментов отражены в работе [8]. Добровольцы, принимавшие участие в наземных экспериментах, были допущены к ним врачебно-экспертной комиссией ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Процедуры и методики исследований были рассмотрены Комиссией по биомедицинской этике при ГНЦ РФ – ИМБП РАН, протокол № 241 от

12 марта 2009 г., а от испытуемых, принимавших участие в исследованиях, было получено добровольное письменное Информированное согласие. В ходе эксперимента, согласно программе, директивно изменялся уровень солепотребления обследуемыми: с 1-х по 35-е сутки изоляции каждый из них потреблял 12 г поваренной соли в день, с 36-х по 70-е сутки – 9 г, с 71-х по 75-е сутки – 12 г, с 75-х по 104-е сутки – 6 г. Для протеомных исследований образцы мочи собирали ежедневно в течение 7 сут перед началом эксперимента, еженедельно в течение 105-суточной изоляции, а также в 1-е и 7-е сут периода реадaptации. Для анализа брали вторую фракцию утренней мочи, которая в дальнейшем была подготовлена для масс-спектрометрического анализа, согласно протоколу, подробно описанному ранее [9].

В результате хромато-масс-спектрометрического анализа был получен список из точных масс пептидов и масс их фрагментов, с помощью которых проводили поиск и идентификацию белков по базе данных IPI-human (International Protein Indices) при помощи программы Mascot (Matrix Science, Лондон, Великобритания).

Для выбора белков, синтезируемых в эндотелии, использовалась база данных Bgee (<http://bgee.unil.ch/>, таблица calls of presence/absence of expression), в процессе чего отбирали гены со следующими значениями переменных: Anatomical entity name: endothelial cell; Expression: present; Call quality: high quality. По генам, экспрессирующимся в эндотелии, с помощью интернет-сервиса Uniprot Id mapping (<http://www.uniprot.org/uploadlists>) было определено 2658 белков.

#### *Результаты и обсуждение*

В результате хромато-масс-спектрометрического анализа образцов мочи были получены спектры, которые использовались для поиска и идентификации белков по базе данных Mascot. Было обнаружено 690 протеотипических пептидов, т.е. содержащих уникальные последовательности аминокислот, присутствующих только одному белку человека. По ним было идентифицировано около 600 белков, пополнивших базу данных белков мочи здорового человека. Всего же на основе данных масс-спектрометрии данного набора образцов мочи было идентифицировано 2037 различных белков.

В последующем с помощью базы данных Bgee были выделены белки, гены которых экспрессируются в эндотелиальных клетках. Для этого сначала из базы данных экспрессии Bgee был получен список генов, экспрессируемых в эндотелиальных клетках. Из них были отобраны гены с указанием на высокий уровень экспрессии данных генов (2658 генов), белки которых были определены по базе

данных UniProt (2658 белков). Сравнение списка эндотелиальных белков, определенных по генам базы данных Bgee, и списка белков, идентифицированных в моче здоровых добровольцев, позволило установить наличие в моче участников изоляции 164 белка, экспрессируемых в эндотелии.

При исследовании динамики частоты выявления белков в эксперименте мы обнаружили, что белок ANGT (ангиотензиноген) выявляется в среднем у половины добровольцев в фоновом периоде, однако перестает выявляться во время проведения и после окончания эксперимента (рис.). Несмотря на то что ангиотензиноген в основном синтезируется печенью, эндотелиальные клетки также вносят свой вклад в продукцию этого белка (согласно базе данных Bgee) и его активацию посредством синтеза ангиотензинпревращающего фермента.

Известно, что ангиотензиноген является участником РААС (ренин-ангиотензин-альдостероновой системы), регулирующей давление, гомеостаз жидкости и электролитов. Ангиотензиноген расщепляется с получением ангиотензинов. Ангиотензин II действует непосредственно на гладкие мышцы сосудов, выступая в роли вазоконстриктора. Действуя на симпатическую нервную систему, он влияет на сердечную сократимость и частоту сердечных сокращений. Кроме того, он изменяет почечную реабсорбцию натрия и воды благодаря своей способности стимулировать клетки клубочковой зоны в коре надпочечников, активируя в результате синтез и секрецию альдостерона. Уровень ангиотензиногена в крови повышается под действием плазменных кортикостероидов, эстрогена, тиреоидного гормона и ангиотензина II. Авторы работы [10] показали, что ангиотензиноген мочи является косвенным показателем активности внутрипочечной ренин-ангиотензиновой системы и что уровень ангиотензиногена в моче теснее коррелирует с уровнем внутрипочечного ангиотензина II, чем с уровнем ангиотензина II в плазме. Мочевой ангиотензиноген и внутрипочечный ангиотензин II увеличиваются при ангиотензин II-опосредованной гипертензии [10]. Концентрация ангиотензиногена в моче испытуемых в ходе эксперимента и в период восстановления понизилась и стала меньше пороговой чувствительности метода его выявления. На основе данных о корреляции мочевого ангиотензиногена и внутрипочечного ангиотензина II можно сделать вывод, что и внутри почки концентрация ангиотензина II в ходе эксперимента понизилась, в результате чего подавлялся процесс реабсорбции натрия.

В эксперименте со 105-суточной изоляцией, помимо условий гермообъекта, наиболее значимым фактором влияния на динамику белков являлось директивное изменение солепотребления. Поэтому были рассчитаны показатели возможных корреляционных связей белков с уровнем солепотребления

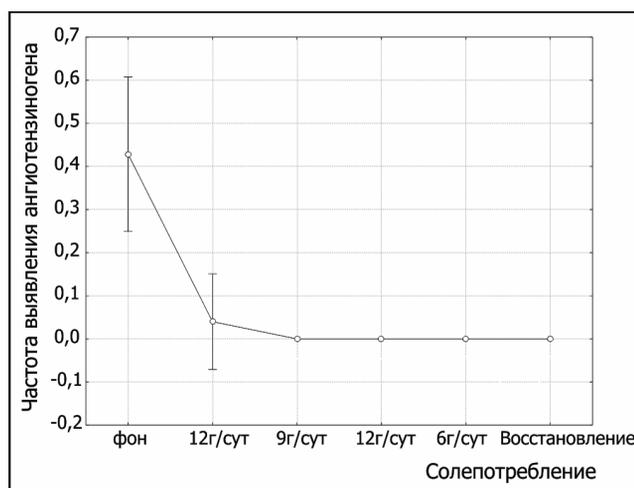


Рисунок. Частота выявления ангиотензиногена в различные периоды эксперимента

(использовалась корреляция Спирмена с поправкой на множественность сравнения Бенджамини – Хохберга, уровень значимости 0,05). Ниже приведены наиболее значимые корреляции белков с уровнем солепотребления (таб.). Выявлено 4 значимых белка: A4\_HUMAN (A4), CD248\_HUMAN (CD248), THY1\_HUMAN (Thy-1), LDHB\_HUMAN (LDHB).

Ручная аннотация данных белков, частота выявления которых коррелирует с уровнем солепотребления, показала следующее.

A4\_HUMAN (бета-амилоид, A4) является высококонсервативным и повсеместно экспрессирующимся интегральным мембранным белком, основной функцией которого является участие в клеточной адгезии. Способен взаимодействовать с адапторными белками и некоторыми компонентами внеклеточного матрикса. Кроме того, A4 содержит цитоплазматический мотив, схожий с тирозинкиназами, который участвует в распространении сигнальных ответов. Экспрессия бета-амилоида в эндотелиальных клетках возрастает после стимуляции провоспалительными цитокинами, такими, как интерлейкин-1 $\beta$  [11]. Избыточная экспрессия A4 в эндотелиальных клетках является токсичной [12]. Показано, что при атеросклерозе, а также при болезни Альцгеймера бета-амилоид обладает повышенной иммунореактивностью в тканях мозга и его сосудах, в частности, в эндотелиальных клетках [13]. Что еще более важно – адгезия моноцитов частично зависит от экспрессии эндотелиального A4 [13]. Показано, что A4 изменяет барьерную функцию эндотелия путем модификации белков цитоскелета, приводя к повышенной проницаемости барьера. Эти изменения могут увеличивать адгезию и диапедез моноцитов в субэндотелиальный слой, вызывая воспаление, как это происходит у

**Корреляция белков с уровнем солепотребления**

Идентификатор белка в базе данных UniProt	R	p-value	p. adjusted
A4_HUMAN	0,797159	0,000372	0,025139*
CD248_HUMAN	0,812812	0,00023	0,025139*
THY1_HUMAN	0,78546	0,00052	0,025139*
LDHB_HUMAN	0,761556	0,000971	0,035193*
PODXL_HUMAN	0,706558	0,003232	0,09373
ASAP2_HUMAN	0,656051	0,007909	0,191129
HCDH_HUMAN	-0,62594	0,012555	0,237048
SCG1_HUMAN	0,623123	0,013079	0,237048
BGLR_HUMAN	0,575544	0,024768	0,326485
K1C10_HUMAN	0,577028	0,024313	0,326485

Примечание. P. adjusted – поправка на множественность сравнения Бенджамини – Хохберга; \* – достоверно коррелируемые белки.

пациентов с болезнью Альцгеймера [14]. Эти данные свидетельствуют о том, что белок A4 регулирует не только межклеточную адгезию, но и опосредует адгезию иммунных клеток и последующее приобретение реактивного фенотипа, которые могут возникнуть во время прогрессирующей сосудистой дисфункции, наблюдаемой при заболеваниях сердечно-сосудистой системы, цереброваскулярных заболеваниях и болезни Альцгеймера. Понимание роли эндотелиального белка A4 в регуляции межклеточной адгезии и последующих изменениях фенотипа эндотелиальных клеток может обеспечить терапевтическую мишень для лечения заболеваний, которые связаны с сосудистой дисфункцией и инфильтрацией иммунными клетками. Возможно, высокий уровень солепотребления также вызывает повышение экспрессии данного белка, что негативно сказывается на функционировании эндотелия.

Белок CD248\_HUMAN (эндосиалин) – мембранный белок из группы гликопротеиновых рецепторов с лектином типа С. В группу также входят CD93 и тромбомодулин. Эти молекулы модулируют врожденный иммунитет, пролиферацию клеток, сосудистый гомеостаз и являются потенциальными терапевтическими мишенями для ряда заболеваний, включая рак, воспалительные заболевания и тромбозы. Эндосиалин интенсивно экспрессируется на стромальных клетках растущих тканей на эмбриональной стадии. Однако после рождения уровень белка CD248 резко подавляется, в результате чего у взрослых экспрессия данного белка происходит на минимальном уровне, за исключением эндометрия, яичника, почечных клубочков и остеобластов [15].

Эндосиалин является признанным маркером опухоли эндотелия, однако, выявление эндосиалина в моче здоровых добровольцев почти на всех точках эксперимента не означает развитие патологического процесса, так как, как указано выше, в здоровом

организме он экспрессируется в сосудах почечных клубочков. Поэтому появление его в моче не может быть специфичным для решения о развитии эндотелиальной и некоторых других опухолей.

THY1\_HUMAN (белок CD90) является гликозил-фосфатидилинозитол-заякоренным белком клеточной поверхности и экспрессируется в различных типах клеток, включая фибробласты, клетки рака яичников, эндотелиальные клетки, нейроны, гемопоэтические клетки и, возможно, эндотелиальные клетки микрососудов кожи [16]. Показано, что Thy-1 экспрессируется в эндотелиальных клетках синовиальной мембраны у пациентов с ревматоидным артритом и в эндотелиальных клетках, окружающих меланому. Таким образом, авторы предположили, что Thy-1 является маркером активации эндотелиальных клеток [16]. Thy-1 вовлечен в регуляцию межклеточного взаимодействия и взаимодействия с матриксом [17]. Активация CD90 влияет на процессы миграции (в том числе трансэндотелиальной) [18], онкогенной трансформации, пролиферации, апоптоза, роста аксонов, подавления опухоли, заживления ран и фиброза. Thy-1 также может активировать гибель клеток и ингибировать онкогенный рост раковых клеток [19]. Экспрессия Thy-1 модулирует пролиферативные реакции фибробластов на цитокины и факторы роста. Одной из основных функций CD90 является участие в активации Т-лимфоцитов.

Как предполагается некоторыми авторами, за солевой баланс организма ответственна, кроме почек, соединительная ткань кожи, протеогликаны которой способны частично депонировать натрий в осмотически неактивной форме [20]. J. Titze и соавт. показали, что в солевом балансе задействована и иммунная система: клетки-макрофаги реагируют активацией на повышенный уровень соли в коже. Эти клетки секретируют фактор роста

эндотелия сосудов (VEGF)-С, контролирующий рост лимфатических сосудов. В результате по этим сосудам происходит отток депонированного натрия. В экспериментах с мышами и крысами Titze блокировал механизм с помощью растворимого VEGF-рецептора, связывающего VEGF-С. В итоге у подопытных животных повышалось давление на фоне высокосолевой диеты [21]. Очевидно, иммунные клетки таким образом регулируют солевой баланс и АД. Интересным является тот факт, что белок Thy-1 также может экспрессироваться в эндотелии микрососудов кожи. В период эксперимента с повышенным солепотреблением (12 г/сут) данный белок выделялся у большинства или у всех добровольцев, в то время как при уровне солепотребления 9 г/сут наблюдалось редкое появление данного белка в моче добровольцев, при 6 г/сут он полностью отсутствовал. Такая частота выявления позволяет предположить важную роль белка Thy-1 в поддержании солевого баланса. Возможно, корреляция частоты выявления белка Thy-1 с повышенным уровнем солепотребления происходит вследствие участия данного белка в депонировании излишков соли, активируя механизм неоваскуляризации.

LDHB\_HUMAN (LDHB), совместно с белком LDHA, являются Н и М субъединицами тетрамерного фермента лактатдегидрогеназы. Каждая субъединица имеет специфические кинетические свойства: LDHA превращает пируват в лактат, а LDHB преобразует лактат в пируват [22]. Разное сочетание субъединиц дает 5 изоферментов (А4, АЗВ1, А2В2, А1В3 и В4), каждый из которых тканеспецифичен: изоферменты, содержащие большие пропорции LDHB, как правило, преобладают в тканях с аэробным метаболизмом (например, сердце), а изоферменты, содержащие в основном LDHA, встречаются в тканях с преобладанием анаэробного метаболизма (например, скелетные мышцы и печень).

Другими исследователями в эксперименте со 105-суточной изоляцией была выявлена тенденция к снижению активности основного фермента энергообмена лактатдегидрогеназы [1]. Также уменьшалась активность общей и панкреатической липазы, амилазы и гамма-глутамил трансферазы. Данные изменения, по словам авторов работы, отражают появление признаков снижения функции желудочно-кишечного тракта и печени при уменьшении двигательной активности испытуемых. Полагаем, что на динамику выявления LDHB в большей степени повлияла гиподинамия, так как к концу эксперимента и в период восстановления данный белок почти не выявлялся, хотя в начале эксперимента данный белок выявлялся у всех или большинства испытуемых.

Хотя прямого участия бета-амилоида, эндосилина, белка CD90 и Н субъединицы тетрамерного фермента лактатдегидрогеназы в процессах

регуляции обмена натрия выявлено не было, однако понимание механизмов их действия и факторов, влияющих на эти белки, поможет раскрыть их роль в организме человека, а также в функционировании эндотелия.

Несмотря на то что эксперимент с длительной изоляцией является наземной моделью действия факторов КП, в целом нам не удалось выявить значительного влияния факторов, действующих в длительной изоляции, на белки, экспрессируемые в эндотелии. Возможно, курс физических тренировок и другие меры, направленные на предотвращение негативных последствий длительной изоляции в гермообъекте, могли успешно купировать негативные изменения, которые происходили на низком уровне, если происходили вообще.

### Выводы

1. Из 2037 различных белков, выявленных хромато-масс-спектрометрически в ходе эксперимента со 105-суточной изоляцией, 164 протеина принимают участие в функционировании эндотелия.

2. Белок ангиотензиноген (участник РААС) присутствует в моче в образцах фонового периода, не выявляясь в период эксперимента и во время восстановления после его завершения.

3. С уровнем солепотребления достоверно коррелируют 4 белка: бета-амилоид, эндосилин, белок CD90, Н субъединица тетрамерного фермента лактатдегидрогеназы.

4. Полученные данные свидетельствуют о незначительном воздействии комплекса факторов длительной изоляции на белки, связанные с функциональным состоянием эндотелия.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-04-02463а и гранта ведущей научной школы НШ-7479.2016.4. Работа с использованием масс-спектрометрии высокого разрешения для анализа белков и пептидов выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 14-24-00114. В работе использовали оборудование ЦКП ИБХФ РАН.*

### Список литературы

1. Маркин А.А., Журавлева О.А., Морукوف Б.В. и др. Гомеостатические реакции организма человека при воздействии условий 105-суточной изоляции // *Авиакосм. и экол. мед.* 2010. Т. 44. № 4. С. 31–34.

Markin A.A., Zhuravleva O.A., Morukov B.V. et al. Homeostatic reactions of the human body exposed to conditions of 105-day isolation // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2010. V. 44. № 4. P. 31–34.

2. Буйлов С.П., Воронков Ю.И., Скедина М.А., Степанова Г.П. Изучение влияния 105-суточной изоляции в гермообъеме на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы испытуемых-добровольцев // Там же. 2010. Т. 44. № 4. С. 27–30.  
*Builov S.P., Voronkov Yu.I., Skedina M.A., Stepanov G.P.* The study of the effect of 105-day isolation in the confinement on the functional state of the cardiovascular system of volunteer testers // *Ibid.* 2010. V. 44. № 4. P. 27–30.
3. Luscher T.F., Tanner F.C., Tschudi M.R., Noll G. Endothelial dysfunction in coronary artery disease // *Ann. Rev. Med.* 1993. V. 44. P. 395–418.
4. Tuomilehto J., Jousilahti P., Rastenyte D. et al. Urinary sodium excretion and cardiovascular mortality in Finland: a prospective study // *Lancet.* 2001. V. 357. P. 848–851.
5. Yu H.C., Burrell L.M., Black M.J. et al. Salt induces myocardial and renal fibrosis in normotensive and hypertensive rats // *Circulation.* 1998. V. 98. P. 2621–2628.
6. Nurkiewicz T.R., Boegehold M.A. High salt intake reduces endothelium-dependent dilation of mouse arterioles via superoxide anion generated from nitric oxide synthase // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2007. V. 292. P. R1550–1556.
7. Vaernes R.J., Bergan T., Warncke M. et al. European isolation and confinement study. Workload and stress: effects on psychosomatic and psychobiological reaction patterns // *Adv. Space Biol. Med.* 1993. V. 3. P. 95–120.
8. Морукон Б.В., Демин Е.П., Васильева Г.Ю. Эксперимент со 105-суточной изоляцией, моделирующий элементы межпланетной экспедиции к Марсу: задачи, объем и структура исследований // *Авиакосм. и экол. мед.* 2010. Т. 44. № 4. С. 3–5.  
*Morukov B.V., Demin E.P., Vasilyeva G.Yu.* Experiment with the 105-day isolation simulating elements of an interplanetary expedition to Mars: objectives, scope and structure of research // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2010. V. 44. № 4. P. 3–5.
9. 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., Paharukova N.A. et al.* The variability of the urine proteome of healthy human in an experiment with 105-day isolation in airchamber // *Fiziologiya cheloveka.* 2011. V. 37. № 3. P. 98–102.
10. Kobori H., Nishiyama A., Harrison-Bernard L.M., Navar L.G. Urinary angiotensinogen as an indicator of intrarenal angiotensin status in hypertension // *Hypertension.* 2003. V. 41. P. 42–49.
11. Forloni G., Demicheli F., Giorgi S. et al. Expression of amyloid precursor protein mRNAs in endothelial, neuronal and glial cells: modulation by interleukin-1 // *Brain Res. Mol. Brain Res.* 1992. V. 16. P. 128–134.
12. Jahroudi N., Kitney J., Greenberger J.S., Bowser R. Endothelial cell dysfunction in response to intracellular overexpression of amyloid precursor protein // *J. Neurosci. Res.* 1998. V. 54. P. 828–839.
13. Austin S.A., Combs C.K. Amyloid precursor protein mediates monocyte adhesion in AD tissue and apoE(-)/(-) mice // *Neurobiol. Aging.* 2010. P. 31. № 11. P. 1854–1866.
14. Nagababu E., Usatyuk P.V., Enika D. et al. Vascular endothelial barrier dysfunction mediated by amyloid- $\beta$  proteins // *J. Alzheimers Dis.* 2009. V. 17. № 4. P. 845–854.
15. Huang H.P., Hong C.L., Kao C.Y. et al. Gene targeting and expression analysis of mouse Tem1/endothelin using a lacZ reporter // *Gene Expr. Patterns.* 2011. V. 11. № 5–6. P. 316–326.
16. Saalbach A., Wetzig T., Hausteil U.F., Anderegg U. Detection of human soluble Thy-1 in serum by ELISA. Fibroblasts and activated endothelial cells are a possible source of soluble Thy-1 in serum // *Cell Tissue Res.* 1999. V. 298. P. 307–15.
17. Leyton L., Herrera-Molina R., Valdivia A. et al. Thy-1-interacting molecules and cellular signaling in cis and trans // *Int. Rev. Cell Mol. Biol.* 2013. V. 305. P. 163–216.
18. Saalbach A., Wetzel A., Hausteil U.F. et al. Interaction of human Thy-1 (CD90) with the integrin  $\alpha$ -v- $\beta$ -3 (CD51/CD61): an important mechanism mediation melanoma cell adhesion to activated endothelium // *Oncogene.* V. 24. № 29. P. 4710–4720.
19. Abeysinghe H.R., Cao Q., Xu J. et al. THY1 expression is associated with tumor suppression of human ovarian cancer // *Cancer Genet. Cytogenet.* 2003. V. 143. P. 125–132.
20. Titze J., Bauer K., Schafflhuber M. et al. Internal sodium balance in DOCA-salt rats: A body composition study // *Am. J. Physiol. Renal Physiol.* 2005. V. 289. P. F793–F802.
21. Titze J., Machnik A. Sodium sensing in the interstitium and relationship to hypertension // *Current Opinion in Nephrology and Hypertension.* 2010. V. 19. P. 385–392.
22. Swiderek K., Paneth P. Differences and similarities in binding of pyruvate and L-lactate in the active site of M4 and H4 isoforms of human lactate dehydrogenase // *Arch. Biochem. Biophys.* 2011. V. 505. P. 33–41.

Поступила 14.03.2017

## **ANALYSIS OF THE SALT CONSUMPTION EFFECTS ON ENDOTHELIAL PROTEINS IN HUMAN URINE DURING 105-DAY ISOLATION**

**Kashirina D.N., Pastushkova L.Kh., Kononikhin A.S., Tiys E.S., Dobrokhotov I.V., Nosovsky A.M., Nikolaev E.N., Larina I.M.**

*Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).* 2017. V. 51. № 4. P. 21–27

*In order to analyze the effects of long-term isolation on urine proteins expressed in the endothelium, urine samples*

*from 6 volunteers for a comprehensive 105-d isolation study were subjected to chromatography-mass spectrometry. Salt consumption was controlled and directed in the interval from 6 to 12 g per a day. Both the up-to-date proteomic techniques and bioinformatics tools were used. A total of 2037 proteins were including 164 proteins expressed predominantly by cells of the vascular endothelium. Correlation of the frequency of their appearance with salt consumption was established for each period of isolation. It was shown that frequency*

*of beta-amyloid, endosialin, CD90, H subunit of the lactate dehydrogenase tetrameric enzyme had a reliable linear correlation with salt consumption. Open databases were used for manual annotation of the most significant ones from the standpoint of the protein endothelium functions. Our results point to a weak effect of long-term isolation factors on the endothelium functioning.*

Key words: hypodynamia, salt consumption, urine proteome, isolation, healthy people.

УДК 613.693+159.9.072.433

## СВЯЗЬ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ С УСПЕШНОСТЬЮ МЕЖЛИЧНОСТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗОЛЯЦИИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Кузнецова П.Г., Гушин В.И., Натура Е.С.

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

E-mail: polina\_ky@mail.ru

*Рассматриваются теоретические определения психологической устойчивости личности. Особое внимание уделено анализу основных компонентов этой комплексной характеристики. В фокусе исследования – аспекты, связанные с проблемой адаптации в группе, в частности, вопрос о влиянии уровня психологической устойчивости личности на предпочитаемые стили межличностного взаимодействия в условиях изоляции. Предложена схема анализа психологической устойчивости на трех основных уровнях ее проявления: когнитивном, физиологическом и поведенческом. Представлен комплекс методик, применявшийся в экспериментах по моделированию основных факторов межпланетного полета, организованных в ИМБП с 2011 по 2016 гг., и позволивший получить объективные данные о степени развития и динамике индивидуальной психологической устойчивости, а также о ее связи с успешностью группового взаимодействия в условиях изоляции.*

Ключевые слова: психологическая устойчивость, саморегуляция, изолированная малая группа, копинг-стратегии, коммуникация, межличностное взаимодействие.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 4. С. 28–33.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-28-33

### *Понятие психологической устойчивости*

Способность человека выполнять профессиональные действия в сложных и экстремальных ситуациях с такой же успешностью, как и в нормальных условиях, часто связывают с понятием психологической устойчивости. При этом природа психологической устойчивости, структура и механизмы ее действия изучены недостаточно, исследования зачастую противоречивы, а понятие психологической устойчивости (ПУ) не получило отчетливых операциональных определений [1].

Анализ представленных в литературе взглядов на проблему позволяет сделать вывод, что ПУ – это интегративное психическое образование, включающее интеллектуальные, эмоционально-волевые и личностно-профессиональные качества. Эта целостная характеристика обеспечивает устойчивость личности к негативному воздействию. Так, по

определению М.Г. Ярошевского и А.В. Петровского [2], «психологическая устойчивость – целостная характеристика личности, обеспечивающая ее устойчивость к фрустрирующему и стрессогенному воздействию трудных ситуаций». Н.А. Бабкина [1] считает, что «она формируется одновременно с развитием личности и зависит от типа нервной системы человека, от опыта, приобретенного в той среде, где развивалась личность, от выработанных ранее навыков поведения и действий, а также от уровня развития основных познавательных структур личности».

В рамках одной небольшой работы не представляется возможным уделить внимание всем фундаментальным подходам к пониманию психологической устойчивости и близких по смыслу конструктов, поскольку интерес к данной проблеме прослеживается практически во всех психологических направлениях и школах. Большое внимание изучению способности к психической саморегуляции как важнейшего аспекта ПУ человека уделяли такие отечественные ученые как Л.М. Аболин, Ю.А. Александровский, Г.М. Андреева, Л.И. Анцыферова, В.А. Бодров, Б.С. Братусь, Л.Г. Дикая, А.Г. Маклаков, В.Э. Чудновский.

Кроме того, в отечественной психологии существует несколько подходов к пониманию структуры психологической устойчивости. В своем исследовании Е.В. Василенко [3] выделяет следующие основные компоненты ПУ: активационный (способность адекватно оценивать и рационально использовать имеющиеся энергетические ресурсы), мотивационный, когнитивный, эмоциональный и волевой. Важным для изучения успешности межличностного взаимодействия является представление о ПУ как о личностном адаптационном потенциале, включающем в себя следующие характеристики: нервно-психическую устойчивость, самооценку личности, ощущение социальной поддержки, уровень конфликтности, опыт социального общения [4].

Советской авиакосмической психологией были предложены подходы к изучению стрессоустойчивости лиц опасных профессий. В НИИ Военной

медицины, Центре подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина и Институте медико-биологических проблем в 60-х и 70-х годах XX в. особое внимание уделялось исследованиям «психофизиологической цены» деятельности и ее продуктивности, а также эмоциональному компоненту ПУ и влиянию стрессовой ситуации на функциональное состояние и сон человека-оператора. Был проведен ряд экспериментов с изоляцией различной продолжительности в гермообъеме, позволивших авторам уточнить критерии для индивидуального отбора летчиков и космонавтов применительно к оценке их ПУ (Кузнецов О.Н., Лебедев В.И. (1972), Леонов А.А. (1975), Гримак Л.П. (1971), Горбов Ф.Д. (1963), Мясников В.И. (1967, 1970, 1987), Новиков М.А. (1981), Козеренко О.П. (1987), Богдашевский Р.Б. (1965), Береговой Г.Т., Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф. (1978) и др.). В последние годы продолжают исследования влияния структурных компонентов психологической устойчивости на профессиональную деятельность оператора в стрессовых условиях [5].

Следует отметить, что в проводимых гермокамерных и натуральных экспериментах, ориентированных на изучение состояния и работоспособности оператора в ходе выполнения тестовой деятельности, оставались нераскрытыми особенности поведения (в том числе территориального и коммуникативного) у лиц с различным уровнем ПУ внутри малой группы (экипажа). В зарубежной космической психологии интерес к этим проблемам проявили I. Altman и W. Haytorn [6, 7]. Ими впервые были опубликованы данные о развитии у испытуемых в ограниченном замкнутом объеме стресса, как результата недостатка персонального пространства, и описано связанное с этим территориальное поведение – особое использование пространства в условиях изоляции. В последнее время с развитием новых технологий поведенческого анализа (компьютерного видеонализа, технологии позиционирования) снова, уже на новом методическом уровне, возродился интерес к комплексному количественному анализу поведения человека в условиях гермообъема [8–10].

#### *Представление о структуре психологической устойчивости*

Обзор исследований, посвященных психологической устойчивости, позволил выделить наиболее значимые структурные компоненты этой интегративной личностной характеристики, а также ее типовые поведенческие проявления. В своем выборе значимых компонентов и типовых поведенческих стратегий, связанных с ПУ, мы опирались на классические труды П.К. Анохина [11] по теории

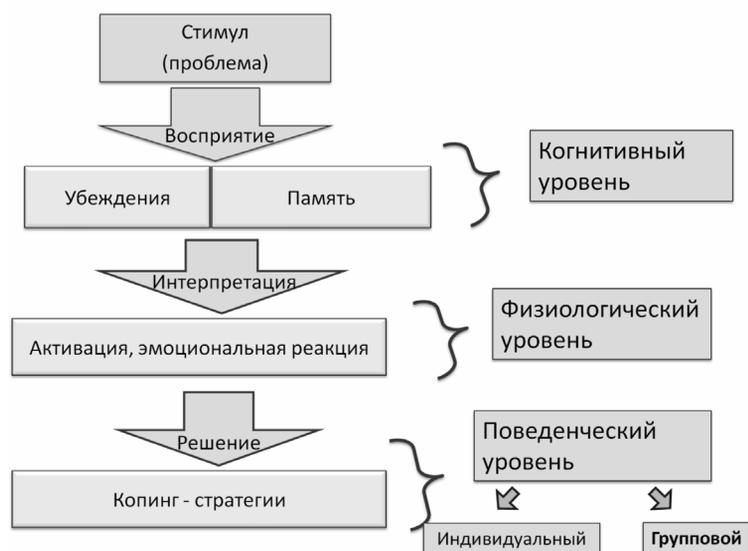


Рисунок. Схема основных уровней реагирования на проблемную ситуацию

функциональных систем, а также на когнитивный подход А. Бека [12]. Для комплексного изучения поведения человека эти исследователи обосновывали необходимость последовательного рассмотрения присущей индивиду когнитивно-аффективно-мотивационной программы (поведенческой стратегии). При этом и физиолог П.К. Анохин, и врач-психотерапевт А. Бек выделяют сходные уровни (этапы) психофизиологического реагирования человека на проблемную ситуацию. Наибольшее значение для формирования ПУ имеют, по их мнению, следующие уровни (этапы): когнитивный, физиологический и поведенческий.

А. Бек считает, что в ответ на проблемную ситуацию у человека на когнитивном уровне формируется интерпретация этого события, которой на физиологическом уровне сопутствует соответствующая эмоциональная реакция. П.К. Анохин также указывает на значимость когнитивного уровня и выделяет роль в реагировании на стимул, прежде всего, памяти, а также потребностей и мотивов. Мы разделяем этот подход, полагая, что именно интерпретация проблемной ситуации в решающей степени обуславливает уровень активации нервной системы, силу эмоционального реагирования и «включает» соответствующий паттерн (стратегию) поведения (рисунок). В случае психологически устойчивой личности, интерпретация ситуации как «разрешимой, посильной» приводит к оптимальной активации ЦНС и умеренному эмоциональному реагированию. При этом испытываемые эмоции не обязательно должны быть положительными – важен не столько знак эмоции, сколько степень их выраженности [13]. В соответствии с законом Йеркса-Додсона, оптимальный уровень активации

приводит к наименьшему количеству ошибок [14], т.е. связан с повышенной надежностью деятельности человека-оператора. Эксперимент «Марс-500» показал, что помимо адекватного поведенческого и деятельностного реагирования на стимул устойчивые люди в условиях изоляции и автономности на протяжении длительного времени способны поддерживать членов своего коллектива, обеспечивая успех не только индивидуальной, но и общегрупповой деятельности [15].

А. Бек [12] описал ряд дезадаптивных типов поведенческих стратегий, характеризующих не вполне адекватную интерпретацию стрессовых ситуаций. На основании наблюдений, проведенных в длительных гермокамерных экспериментах, мы считаем, что в случае развития состояний психической дезадаптации в данных условиях у испытуемых могут проявляться элементы зависимого, избегающего, а также обсессивно-компульсивного (чрезмерный перфекционизм) типов поведения. Выделенные Бекем другие типы личности с дезадаптивными стратегиями (шизоидный, параноидный, пассивно-агрессивный, антисоциальный и нарциссический) как правило, отсеиваются на этапе медико-психологического отбора в состав экипажа.

Для зависимого типа по Беку в проблемной ситуации характерно ощущение себя слабым, некомпетентным человеком, которому требуется помощь извне. Такая ее интерпретация связана с переживанием тревоги и беспокойства, усиливающихся, когда рядом нет помогающих, поддерживающих субъектов. Это коррелирует, как правило, с низким уровнем мобилизации психологических ресурсов, их растратой на переживание, а не на разрешение проблемы. Такие люди считают, что могут нормально функционировать в проблемной ситуации, только если рядом есть компетентные помощники. В том случае, если они есть, возможны переживания радости и эйфории.

Избегающий тип, как и зависимый, отличает представление о себе как о некомпетентном и неприспособленном к проблемной ситуации. Различия же связаны с тем, что избегающий тип считает других критично настроенными к нему и тем более к результатам его деятельности в значимых условиях. Поэтому у него формируются убеждения о необходимости уходить от сложных ситуаций и оценок других людей. Хотя уровень активации у него может быть высоким, он направлен не на разрешение ситуации, а на уход от нее. В эмоциональном состоянии доминируют тревога и печаль.

Интерпретация проблемной ситуации человеком с типом перфекциониста отличается повышенным чувством личной ответственности за результат и переоценкой значимости (трудности) ситуации. Такая установка вызывает повышенный уровень активации и связанные с этим гипертоническую и

тревогу. Уверенность в необходимости высокой активации психофизиологических ресурсов для выполнения всех поставленных задач может вызвать их истощение, даже в случае, если сами по себе задачи не являются трудными.

Из теории А. Бека следует, что дезадаптивность поведения распространяется не только на индивидуальное функционирование в проблемных ситуациях, но также и на взаимодействие (коммуникации) с окружающими.

Таким образом, из анализа литературы видно, что в современной психофизиологии накоплено достаточно большое количество данных о реагировании психологически неустойчивых личностей на когнитивном, деятельностном и эмоционально-активационном уровне. При этом практически мало изученной областью остаются собственно поведенческие особенности пребывания людей с различным уровнем ПУ в условиях ограниченного объема и сенсорной депривации.

Особый интерес психологов в последнее время вызывает использование в экстремальных условиях космического полета (и в модельных исследованиях) стратегий преодоления (копингов), развивающихся под влиянием условий стресса [16]. Если ситуация воспринимается человеком-оператором как стрессовая, то он автоматически начинает использовать сформированные в ходе жизни способы преодоления стресса, имеющие четкие речевые корреляты. В цикле исследований канадского ученого P. Suedfeld [17] на основе анализа интервью астронавтов были выделены проблемно-ориентированные и эмоционально-ориентированные копинг-стратегии. Нам представляется, что использование при описании поведения в проблемной ситуации существующих классификаций копинга позволит более точно описать и идентифицировать поведенческие аспекты ПУ.

Еще одним малоизученным, но важным компонентом поведения лиц с различным уровнем ПУ являются экпсихологические аспекты взаимодействия людей в ограниченном пространстве и, особенно коммуникативное поведение. Если в зарубежной литературе, особенно в последнее время на основе классических работ I. Altman, W. Haytorn [6, 7] это направление достаточно активно разрабатывается – применительно к возможности межпланетных полетов и напланетных баз, в нашей литературе недостаточно представлена связь между коммуникативными стратегиями и территориальным поведением человека в ограниченном объеме.

Таким образом, необходимо отметить, что изучение таких поведенческих проявлений ПУ как копинг-стратегии, а также обусловленные уровнем ПУ коммуникативное поведение и взаимодействие позволит решить как многие вопросы отбора в межпланетные экспедиции, так и вопросы эргономики,

Исследуемые в гермообъеме параметры психологической устойчивости в экипаже

	Исследуемые уровни и их компоненты	Методики
Индивидуальная психологическая устойчивость	1. Когнитивный уровень	
	Субъективная оценка своего психологического состояния.	POMS (Profile of Mood States)
	Самовосприятие (восприятие себя). Восприятие других членов группы.	PSPA (Personal Self Perception and Attitudes)
	Субъективная оценка отношений в группе.	Социометрия
	2. Психофизиологический уровень	
	Фрустрированность основных потребностей.	Тест цветовых выборов
	Способность к произвольной саморегуляции.	Релаксометр
	Хабитуация (приспособление) к стрессу.	Зеркальный координограф
	3. Поведенческий уровень	
	Реагирование на стресс. Интеракции (взаимодействие). Коммуникативная активность.	Анализ записей видеонаблюдения и групповых дискуссий
Групповая динамика	Групповой статус	Социометрия
	Воспринимаемое психологическое сходство	PSPA

Примечание. Методика POMS подробно рассмотрена в работе [19], другие перечисленные выше методики описаны в работе [15].

оптимальной компоновки, необходимого персонального пространства для будущих космических кораблей и напланетных баз.

#### Методология исследования психологической устойчивости

В связи с поставленными задачами изучения роли ПУ в успешности групповой адаптации мы обратили пристальное внимание на поведенческий уровень проявления этого свойства. По нашему мнению, условия гермокамерных изоляционных экспериментов являются одними из наиболее подходящих для исследования ПУ. В таких экспериментах человек длительное время находится под воздействием известной группы фрустрирующих стрессогенных факторов: монотонии, сенсорной депривации, возможности нестандартных ситуаций с высоким уровнем неопределенности и необходимостью быстрого принятия решений и др. [18]. При современном уровне развития технологий объективного анализа поведения они дают широкие возможности для наблюдения и фиксации поведения не только во время выполнения тестовых заданий, но и в основное (рабочее и свободное) время жизнедеятельности обследуемых.

Гермокамерные эксперименты дают возможность проанализировать реакции психологически устойчивых и неустойчивых лиц на ситуацию взаимодействия в условиях скученности, вынужденного

характера общения в изолированном коллективе, отсутствия привычной социальной поддержки и др. Как показали многие исследования, социально-психологические условия деятельности в значительной степени определяют успешность и результативность решения профессиональных задач [13]. Мы предполагаем [15], что люди с высоким уровнем развития ПУ могут не только продуктивно выполнять работы, связанные с высокими рисками и критическим уровнем стресса, но также в условиях изоляции и высокой автономности на протяжении длительного времени способны эмоционально поддерживать членов своего коллектива, обеспечивая успех не только индивидуальной, но и общегрупповой деятельности. В соответствии с нашей гипотезой, факторы индивидуальной ПУ и групповой динамики в условиях гермообъема оказывают взаимное влияние: с одной стороны, уровень ПУ каждого члена экипажа определяет его групповой статус, с другой стороны, на уровень ПУ обследуемого влияют взаимоотношения в группе в зависимости от этапа адаптации к модельным условиям.

Когнитивный уровень ПУ проявляется в интерпретации и оценке людьми ситуации, собственного психоэмоционального состояния и группового взаимодействия. По нашей гипотезе, люди, обладающие высоким уровнем развития ПУ, в условиях стресса воспринимают проблемную ситуацию как «решаемую», могут предложить план действий

для преодоления трудностей, а собственное состояние оценивают адекватно, что является залогом высокой продуктивности деятельности. Восприятие части членов своей группы как «близких» в эмоциональном плане и разделяющих сходные ценности также должно обеспечивать человеку ресурс для сохранения устойчивости в неблагоприятных условиях.

Психофизиологический уровень отражает уровень эмоционального реагирования на стрессогенную ситуацию, процесс приспособления к ней, а также способность к саморегуляции в сложных условиях. Психологически устойчивый человек при возникновении трудностей может испытывать негативные эмоции, но остается способен объективно анализировать проблемную ситуацию, предпринимать конструктивные действия для ее решения. Переживая ситуацию, он способен также использовать саморегуляцию, что проявляется в том, что его эмоции не превышают допустимые пределы нервного возбуждения, которые помешали бы ему выполнять профессиональные задачи.

Поведенческий уровень проявления ПУ позволяет выделить конкретные стратегии преодоления стрессогенной ситуации. Длительные наблюдения за поведением людей в гермообъеме позволяют получить объективное и комплексное представление о типичных проявлениях ПУ, так как анализу подвергается не тестовая, регламентированная деятельность членов экипажа, а естественное для людей поведение с выработанными на протяжении жизни устойчивыми копинг-стратегиями. В соответствии с нашей гипотезой, в поведенческих стратегиях психологически устойчивого человека в условиях стресса преобладают планирование (основанное на анализе); деятельность, направленная на разрешение проблемы; саморегуляция и сотрудничество.

Для исследования ПУ на 3 основных ее уровнях проявления (когнитивном, психофизиологическом и поведенческом), а также ее связи с особенностями групповой динамики нами был отобран комплекс методик, представленный в таблице.

В последнее время в практику полетов Международной космической станции внедряются новые технологии, предоставляющие возможность точного позиционирования в замкнутом пространстве, которые могут сочетаться с круглосуточной оценкой двигательной активности космонавтов (с помощью носимых актиграфов). В ближайшие годы планируется проведение серии изоляционных экспериментов сходной методологической направленности, в которых будет использован расширенный спектр инструментов анализа поведения (включая и видеорегистрацию). Они позволят собрать фоновые данные о взаимодействии и активности экипажа для сравнения с результатами полетных экспериментов, что даст возможность в дальнейшем

вычленив влияние фактора невесомости на поведение и взаимодействие в экипаже в гермообъеме.

#### Выводы

1. Исследование влияния психологической устойчивости на поведение и взаимодействие в экипажах, находящихся длительное время в экстремальных условиях изоляции, позволит решить ряд важных вопросов применительно к будущим межпланетным полетам и развертыванию напланетных поселений. Прежде всего, это касается уточнения существующих критериев отбора в экипаж, оптимизации его численного и гендерного состава. В дальнейшем, такой подход позволит усовершенствовать систему отбора лиц опасных профессий и разработать методики мониторинга психологической устойчивости.

2. Применение современных методов объективного анализа поведения даст ответы на вопросы эргономики гермообъемов: потребного персонального пространства для психологически комфортного взаимодействия и, исходя из этого, оптимальной компоновки межпланетных кораблей и напланетных поселений. Исследование ПУ на трех основных уровнях (когнитивном, физиологическом и поведенческом) позволяет наиболее полно изучить ее проявления в коллективной деятельности экипажа в условиях гермообъема.

*Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН.*

#### Список литературы

1. Бабкина Н.А. Устойчивость сотрудника ОВД в сложных профессиональных ситуациях // Психопедагогика в правоохранительных органах. 2007. № 4 (31).  
*Babkina N.A. Sustainability of policemen in difficult professional situations // Psikhopedagogika v pravookhranitelnykh organakh. 2007. № 4 (31).*
2. Психологический словарь / А.В. Петровский, М.Г. Ярошевский, ред. 2-е изд., испр. и доп. М., 1990.  
*Psychological Dictionary / A.V. Petrovsky, M.G. Yaroshevskiy, eds. 2nd ed., rev. and ext. Moscow, 1990.*
3. Василенко Е.В. Формирование профессионально-психологической устойчивости будущих сотрудников ОВД к экстремальным ситуациям: Автореф. дис. ... канд. психол. наук. Ставрополь, 2008.  
*Vasilenko E.V. Formation of professional psychological stability to extreme situations in the future policemen: Avtoreferat dissertatsii kandidata psikhologicheskikh nauk. Stavropol, 2008.*
4. Маклаков А.Г. Личностный адаптационный потенциал: его мобилизация и прогнозирование в экстремальных условиях // Психол. журн. 2001. Т. 22. № 1. С. 16–24.

- Maklakov A.G. Personal adaptation potential: its mobilization and forecasting in extreme conditions // *Psikhologicheskii zhurnal*. 2001. V. 22. № 1. P. 16–24.
5. Бодров В.А., Обознов А.А. Система психической регуляции стрессоустойчивости человека-оператора // Там же. 2000. № 4. С. 32–40.
- Bodrov V.A., Oboznov A.A. System of mental regulation of an operator's stress-resistance // *Ibid*. 2000. № 4. P. 32–40.
6. Altman I., Taylor D.A., Wheeler L. Ecological aspects of group behavior in social isolation // *J. of Appl. Psychol.* 1971. № 1. P. 76–100.
7. Altman I., Haythorn W. The ecology of isolated groups // *Behav. Sci.* 1967. № 12. P. 169–182.
8. Tafforin C., Vinokhodova A., Chekalina A., Gushin V. Correlation of etho-social and psycho-social data from «Mars-500» interplanetary simulation // *Acta Astronautica*. 2015. June–July. V. III. P. 19–28.
9. Kozlowski S.W.J., Chang C.H., Biswas S. Capturing the dynamics of team work // NASA Human Research Program Investigators' Workshop. Houston, 2012.
10. Johannes B., Sitev A.S., Vinokhodova A.G. et al. Wireless monitoring of changes in crew relations during long-duration mission simulation // *PLOS ONE* 10(8): e0134814. doi:10.1371/journal.pone.0134814. 2015.
11. Анохин П.К. Философские аспекты теории функциональной системы. Избранные труды. / Ф.В. Константинов, Б.Ф. Ломов, В.Б. Швырков, ред. М., 1978.
- Anokhin P.K. Philosophical aspects of the theory of functional systems. Selected works / F.V. Konstantinov, B.F. Lomov, V.B. Shvyrvkov., eds. Moscow, 1978.
12. Когнитивная психотерапия расстройств личности: Пер. с англ. / А. Бек, А. Фримен, ред. СПб., 2002.
- Cognitive therapy of personality disorders / A. Beck, A. Freeman, eds. St. Petersburg, 2002.
13. Гагарин Ю.А., Лебедев В.И. Психология и космос. 4-е изд. М., 1981.
- Gagarin Yu.A., Lebedev V.I. Psychology and space. 4th ed. Moscow, 1981.
14. Хекхаузен Х. Мотивация и деятельность. 2-е изд. М., 2003.
- Heckhausen H. Motivation and activity. 2nd ed. Moscow, 2003.
15. Кузнецова П.Г., Гуцин В.И., Виноходова А.Г. и др. Межличностное взаимодействие в условиях высокой автономности при моделировании межпланетного полета (эксперимент «Марс-500») // *Авиакосм. и экол. мед.* 2016. Т. 50. № 2. С. 57–63.
- Kuznetsova P.G., Gushchin V.I., Vinokhodova A.G. et al. Interpersonal interaction in the condition of high autonomy simulating a space exploration mission («Mars-500» experiment) // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2016. V. 50. № 2. P. 57–63.
16. Lazarus R.S., Folkman S. Stress, appraisal and coping. N.Y., 1984.
17. Suedfeld P. Invulnerability, coping, salutogenesis, integration: four phases of spaceflight psychology // *Aviat. Space and Environ. Med.* 2005. V. 76. № 6.A.
18. Архангельский Д.Ю., Лукьянов А.Н., Симонов П.В. и др. Эмоциональное напряжение как фактор космического полета // Тез. докл. на IV Межд. симп. «Человек в космосе». Ереван, 1971. С. 42–43.
- Archangelsky D.Yu., Lukyanov A.N., Simonov P.V. et al. Emotional tension as the factor of space flight / Abstracts at the IV International Symposium «Man in Space». Yerevan, 1971. P. 42–43.
19. McNair D.M., Lorr M., Droppleman L.F. Profile of Mood States Manual (revised). 1992. San Diego, CA. 1992.

Поступила 08.12.2016

## THE ASSOCIATION BETWEEN PSYCHOLOGICAL STABILITY AND SUCCESSFUL INTERPERSONAL INTERACTION IN ISOLATION: THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS

Kuznetsova P.G., Gushchin V.I., Natura E.S.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 4. P. 28–33

*Theoretical definitions of psychological stability of an individual are examined with the emphasis on main components of this complex characteristics. The focus is laid on the aspects of adaptation in a group, the reflection of psychological stability on preferred styles of interpersonal interactions in isolation and confinement specifically. The authors outline a three-stage psychological stability analysis on the cognitive, physiological and behavior levels and dwell upon the suite of tests used in the IBMP experiments with simulation of some space flight factors performed in 2011 on 2016 to collect objective data about strength and dynamics of personal psychological stability, as well as its relevance to successful interaction within isolated group.*

Key words: psychological stability, self-regulation, isolated small group, coping-strategy communication, interpersonal interaction.

УДК 623.74

## АВИАЦИОННЫЙ ШУМ КАК ВЕДУЩИЙ НЕБЛАГОПРИЯТНЫЙ ФАКТОР ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТАВА ПАЛУБНОЙ АВИАЦИИ

Плахов Н.Н.<sup>1</sup>, Глазников Л.А.<sup>2</sup>, Сорокина Л.А.<sup>1</sup>, Буйнов Л.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова МО РФ, Санкт-Петербург

E-mail: nikplakhov@yandex.ru

*Воздействие авиационного шума оказывает значительное негативное действие на организм специалистов, обеспечивающих полеты летательных аппаратов с палубы кораблей и судов. Цель работы – физиолого-гигиеническая оценка роли авиационного шума как ведущего неблагоприятного фактора условий труда инженерно-технического состава палубной авиации. Приведены результаты исследования влияния высокоинтенсивного шума от летательных аппаратов на организм инженерно-технического состава палубной авиации. Авиационный шум является ведущим неблагоприятным фактором профессиональной деятельности указанных специалистов и служит фактором риска развития патологических процессов в слуховом анализаторе, ухудшения функциональной подвижности нервных процессов в зрительном и двигательном анализаторах. С увеличением стажа работы воздействие высокоинтенсивного шума на организм специалистов может приводить к развитию сердечно-сосудистых заболеваний. Обоснована необходимость разработки эффективных индивидуальных средств защиты от шума для персонала, обеспечивающего полеты палубной авиации.*

Ключевые слова: палубная авиация, инженерно-технический состав, авиационный шум, специфическое и неспецифическое действие на организм, средства индивидуальной защиты.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 4. С. 34–38.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-34-38

Полеты летательных аппаратов с палубы кораблей и судов сопровождаются воздействием на всех членов экипажа интенсивного авиационного шума. При этом морские специалисты, располагающиеся в судовых помещениях, и летный состав палубной авиации, который находится в кабинах самолетов (вертолетов) или в помещении летных экипажей, испытывают акустическую нагрузку в меньшей степени по сравнению с лицами инженерно-технического состава, обеспечивающими производство полетов непосредственно на полетной палубе. Так, имеются сообщения о том, что уровень шума в центральных постах, постах связи и локации,

большинстве жилых помещений судов находится, как правило, в пределах 60–75 дБА, а в помещении постов, расположенных вблизи силовой установки или линии вала, значение фактора может достигать до 90 дБА и выше [1].

В период полетов самолетов или вертолетов с палубы судна уровни воздушного шума в помещениях могут повышаться на 5–20 дБА, а на полетной палубе при работе двигателей вертолетов составляют от 95 до 120 дБА, самолетов – от 100 до 140 дБА [1, 2]. Для летательных аппаратов военно-транспортной авиации на рабочих местах инженерно-технического персонала отмечено превышение предельно допустимого уровня звукового давления в инфразвуковом диапазоне преимущественно на среднегеометрической частоте 16 Гц в среднем на 20 дБ Лин [3]. Авиационный шум является воздушным широкополосным шумом, максимальный спектр энергии которого находится в области высоких частот, а также имеет значительный вклад низкочастотных и инфразвуковых колебаний [3, 4].

Кроме этого специфическое воздействие на организм лиц, обеспечивающих полеты, оказывает вибрация полетной палубы, генерируемая при взлете-посадке летательных аппаратов [1, 2]. Указанное обстоятельство отличает условия труда лиц специалистов, обеспечивающих полеты с палубы корабля, от условий труда при организации полетов летательных аппаратов наземного базирования.

В период плавания судна указанные параметры воздушного шума могут способствовать развитию у морских специалистов как специфических, так и неспецифических неблагоприятных изменений со стороны органов и систем организма. У моряков в условиях постоянного воздействия высоких уровней воздушного шума (80 дБА и выше), а также у пилотов гражданской авиации наблюдается временное смещение порогов слуховой чувствительности с понижением остроты слуха в среднем на 10–15 дБ и риск развития глухоты при длительном стаже работы [1, 5, 6].

Снижению риска неблагоприятного воздействия авиационного шума на организм авиационных

специалистов уделяется большое внимание как в конструкторском и организационном направлениях, так и в развитии средств индивидуальной защиты [1, 2, 5–7].

В доступной литературе практически отсутствуют сведения о влиянии высокоинтенсивного авиационного шума на организм членов экипажей кораблей и судов с авиационными комплексами на борту. Развитие добычи энергоресурсов на шельфе, освоение арктической зоны, расширение зоны плавания в Мировом океане предполагает использование разного рода летательных аппаратов с палуб кораблей, судов и буровых платформ. В связи с этим значение физиолого-гигиенических исследований влияния авиационного шума на организм авиационных специалистов существенно возрастает, что определяет актуальность работы.

Целью данной работы является физиолого-гигиеническая оценка роли авиационного шума как ведущего неблагоприятного фактора условий труда инженерно-технического состава палубной авиации.

#### *Методика*

В период плавания корабля с авиационным комплексом проведено исследование функционального состояния слухового анализатора и неспецифических реакций организма лиц инженерно-технического состава палубной авиации в условиях воздействия на них авиационного шума.

Формирование групп испытуемых проходило в зависимости от специфики условий труда: в группу 1 (21 человек) вошли специалисты, обеспечивающие полеты вертолетов. Группы 2 (18 человек) и 3 (20 человек) включали в себя лиц, обеспечивающих полеты самолетов. Испытуемые групп 1 и 2 обеспечивали полеты без использования средств защиты от шума, а лица группы 3 для защиты от шума применяли гарнитур шумозащитный ГШ-1. Указанное средство имеет эффект снижения звукового давления от 22 дБ на частотах 125 и 250 Гц до 35 дБ на частотах 4000 и 8000 Гц. Следует отметить, что штатные средства защиты от шума неудобны при эксплуатации, и не оборудованы радиосвязью, что затрудняет получение речевой информации в период производства полетов. В связи с этим инженерно-технический состав зачастую не использует их в своей работе.

Продолжительность летной смены составляла от 6 до 10 ч в сутки. Возраст участников испытаний составлял от 26 до 35 лет, стаж работы – от 7 до 15 лет. Всего на протяжении 10-суточного плавания корабля выполнено 4 эпизода полетов. Гидроклиматические условия полетов были благоприятными.

Оценку специфических изменений со стороны органа слуха проводили путем отоскопии и с помощью аудиометрии.

Исследование неспецифических реакций организма проводили по показателям центральной нервной системы (оценки тремора, критической частоты световых мельканий) и сердечно-сосудистой системы (определение частоты сердечных сокращений – ЧСС, систолического и диастолического артериального давления – САД и ДАД).

Обследование специалистов проводили до начала производства полетов, по окончании летной смены и в утренние часы на следующий день после полетов. Оцениваемые показатели за период проведения всех полетов суммировались. Статистическая обработка результатов проводилась с расчетом доверительных значений показателей по Стьюденту.

#### *Результаты и обсуждение*

За летную смену специалисты обеспечивали взлет-посадку от 5 до 7 летательных аппаратов. Результаты измерения интенсивности и времени воздействия на инженерно-технический состав авиационного шума свидетельствуют о том, что в среднем за один эпизод взлета-посадки возрастающий уровень звукового давления, генерируемый двигателями самолетов, составляет от 90 до 145 дБ на протяжении 3 мин при подготовке аппарата к взлету и 30 с на сам взлет. В период захода самолета на посадку (20–30 с) уровень шума возрастает от 90 до 120 дБ. Посадка занимает около 20 с, при этом уровень шума повышается до 135 дБ с последующим его снижением при прохождении самолета на позицию (от 110 до 90 дБ) и до полного выключения двигателей на протяжении еще 1 мин. В период обеспечения полетов вертолетов инженеры и техники подвергаются действию шума на протяжении практически тех же временных параметров. Уровни звукового давления от двигателей вертолетов ниже в среднем на 20 дБ.

Следовательно, за один эпизод взлета-посадки летательного аппарата специалист, обеспечивающий полеты, подвергается воздействию авиационного шума на протяжении в среднем 5 мин. При полетах самолетов высокоинтенсивный шум, превышающий болевой порог, действует на протяжении около 1 мин.

Исходные исследования состояния слухового анализатора испытуемых проводились до начала полетов в начальный период плавания корабля. При проведении аудиометрии были выявлены признаки негативного воздействия шума на орган слуха у лиц со стажем работы свыше 10 лет (19 специалистов), что выражалось у них в повышении порогов слуховой чувствительности до 5 дБ на частотах 500, 1000 и 2000 Гц. Со стороны отоскопической картины нарушений выявлено не было.

При проведении полетов обследование специалистов показало следующие результаты.

**Влияние авиационного шума на функции двигательного и зрительного анализаторов испытуемых ( $X \pm m$ )**

Показатели	Группа 1		Группа 2		Группа 3	
	до полетов	после полетов	до полетов	после полетов	до полетов	после полетов
Тремометрия, мм	3,8 ± 0,3	4,6 ± 0,6	4,1 ± 0,2	5,6 ± 0,8*	4,0 ± 0,2	4,3 ± 0,3
Критическая частота световых мельканий, Гц	48,4 ± 3,1	42,1 ± 4,8	46,0 ± 3,6	35,2 ± 5,1*	45,9 ± 2,7	42,4 ± 3,8

Примечание. \* – различия по группам до и после завершения полетов статистически достоверно ( $p \leq 0,05$ ).

У лиц группы 1 после окончания летной смены отоскопическая картина характеризовалась умеренной гиперемией барабанных перепонки практически у половины испытуемых (10 человек – 47,6 %). Гиперемия постепенно проходила на 2–3-и сутки после окончания полетов. Подобные изменения, но уже у всех специалистов, обнаружены в группе 2, причем они были более выраженными: наблюдались гиперемия и точечные кровоизлияния, а у 7 из них (38,9 %) – еще и значительное втяжение и сглаженность контуров барабанной перепонки. Эти изменения сохранялись в среднем на протяжении 2 сут после окончания полетов и на 3–4-е сутки отоскопическая картина приходила к норме.

У лиц, применявших штатные средства защиты от шума (группа 3), наблюдались единичные случаи (3 человека – 15 %) возникновения умеренной гиперемии барабанной перепонки. На следующие сутки подобные явления у них исчезали.

Результаты аудиометрии у лиц группы 2 после окончания летной смены выявили наибольшее повышение порогов слуховой чувствительности (на частоте 500 Гц от 22,4 ± 1,0 до 34,1 ± 1,6 дБ) по сравнению с оценкой, проведенной до летной смены. На следующие сутки у этих специалистов повышение порогов восприятия звуков на частотах 250, 500 и 1000 Гц сохранялось на уровне 4–7 дБ. Полное восстановление слуховой чувствительности происходило лишь на 2-е сутки.

По свидетельству ряда авторов кумуляция указанных изменений со стороны органа слуха даже при относительно короткой продолжительности работы в условиях воздействия интенсивного широкополосного шума, в том числе авиационного, может приводить к риску развития профессиональной нейросенсорной тугоухости [1, 6–8].

У лиц группы 1 изменения аудиометрического статуса характеризовались менее выраженным повышением порогов слуховой чувствительности. Причем наиболее существенным оказалось ухудшение восприятия аудиометрического сигнала на частотах 2000–8000 Гц (от 13,4 ± 1,2 до 17,2 ± 2,1 дБ). Через 1 сут у 16 человек (76,2 %) аудиометрический статус восстановился, а у остальных 5 специалистов

(23,8 %) пороги слуховой чувствительности вернулись к исходному уровню лишь через 2 сут.

Пороги слуховой чувствительности у лиц группы 3 после окончания летной смены повышались на 9–12 дБ на частотах 250, 500 и 1000 Гц, но к утру следующего дня возвращались к исходным значениям.

На воздействие авиационного шума у испытуемых наблюдались следующие неспецифические реакции организма, оцениваемые по показателям реакции центральной нервной и сердечно-сосудистой систем. У лиц группы 2 в течение 1-го часа после окончания полетов установлено увеличение ЧСС на 10,6 ± 2,5 уд/мин. При этом эпизод посадки самолета на палубу сопровождался у них существенным подъемом показателя ЧСС до 100–120 уд/мин, сохранявшимся на протяжении первых 3 мин после посадки. Уровень САД, составлявший до начала полетов 118,1 ± 6,1 мм рт. ст., повышался после завершения летной смены до 126,3 ± 7,0 мм рт. ст., ДАД повышалось в среднем на 10 мм рт. ст. Артериальное давление возвращалось к исходным величинам через 2–4 ч после завершения летной смены. Это свидетельствует об интенсивном характере действия авиационного шума на организм специалистов, обеспечивающих полеты самолетов без специальных средств защиты организма в целом [2].

Лица, обеспечивающие полеты вертолетов (группа 1), испытывали шумовую нагрузку меньшей интенсивности, что, очевидно, приводило к менее выраженным изменениям показателей со стороны сердечно-сосудистой системы. Так, увеличение ЧСС после посадки вертолетов не превышало у них в среднем 5 уд/мин, а уровней САД и ДАД до 7 мм рт. ст. по сравнению с исходными данными. В течение 1 ч после окончания полетов происходила нормализация показателей.

Обращает на себя внимание тот факт, что у испытуемых группы 3 воздействие авиационного шума на организм приводило к реакции сердечно-сосудистой системы, сравнимой с таковой у лиц группы 2. По-видимому, это объясняется общим сочетанным действием на организм низкочастотной составляющей высокоинтенсивного шума и генерируемой

им же вибрации палубы. Оба фактора оказывают преимущественное влияние на реакцию органов и систем путем костной проводимости организма человека [1]. Этим объясняется то обстоятельство, что авиационный шум в условиях длительного воздействия на организм инженерно-технического состава авиации является фактором риска развития сердечно-сосудистых заболеваний [2].

Динамика результатов оценки лабильности нервных процессов в центральной нервной системе в ответ на действие авиационного шума представлена в таблице. Полученные данные свидетельствуют о достоверном ухудшении функциональной подвижности нервных процессов в двигательном и зрительном анализаторах специалистов, обеспечивающих полеты самолетов без средств защиты органа слуха (группа 2).

#### Выводы

1. Условия труда инженерно-технического состава палубной авиации связаны с воздействием на организм высокоинтенсивного авиационного шума как ведущего неблагоприятного фактора, приводящего к риску снижения уровня здоровья и работоспособности специалистов.

2. Наиболее выраженные изменения специфического и неспецифического характера со стороны организма наблюдаются у лиц, обеспечивающих полеты самолетов без средств индивидуальной защиты от шума. Это выражается в нарушении кровообращения в слуховом анализаторе, существенном повышении порогов слуховой чувствительности (свыше 20 дБ на низких частотах), выраженном увеличении ЧСС и артериального давления, ухудшении функции слухового, зрительного и двигательного анализаторов после завершения полетов.

3. Средства индивидуальной защиты инженерно-технического состава палубной авиации неудобны в эксплуатации, не обеспечивают эффективную защиту организма от неблагоприятного воздействия авиационного шума и не оборудованы средствами связи. Для полноценной защиты организма лиц, обеспечивающих полеты летательных аппаратов палубной авиации, целесообразна разработка шумозащитного костюма, виброзащитной обуви и шумозащитного шлема, оборудованного радиосвязью.

#### Список литературы

1. Физические факторы обитаемости кораблей и судов / О.П. Ломов, ред. СПб., 2014.

Physical factors of habitability of ships / O.P. Lomov, ed. St. Petersburg, 2014.

2. Ушаков И.Б., Зинкин В.Н., Солдатов С.К. и др. Влияние высокоинтенсивного авиационного шума на показатели гемодинамики инженерно-технического состава Военно-Воздушных Сил // Воен.-мед.журн. 2007. № 1. С. 52–57.

Ushakov I.B., Zinkin V.N., Soldatov S.K. et al. Effect of high aircraft noise on hemodynamics of the Air Force technical personnel // Voenno-meditsinskiy zhurnal. 2007. № 1. P. 52–57.

3. Люцкий И.М., Зинкин В.М., Афанасьев Р.В., Деллалов Н.Н. Влияние профессиональных факторов на заболеваемость летного и инженерно-технического состава военно-транспортной авиации // Там же. 2008. № 9. С. 50–52.

Lyutskiy I.M., Zinkin V.M., Afanas'ev R.V., Dellalov N.N. Effect of professional factors on the incidence of flying, engineering and technical personnel of military transport aviation // Ibid. 2008. № 9. P. 50–52.

4. Борщевский И.Я., Кузнецов В.С., Лапаев Э.В. О нормировании воздействия авиационных шумов // Там же. 1967. № 10. С. 80–83.

Borshchevskiy I.Ya., Kuznetsov V.S., Lapaev E.V. On the regulation of the impact of aircraft noise // Ibid. 1967. № 10. P. 80–83.

5. Харитонов О.И., Потеряева Е.Л., Кругликова Н.В. Профессиональная нейросенсорная тугоухость у членов экипажей воздушных судов гражданской авиации // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 6. С. 12–15.

Kharitonova O.I., Poteryaeva E.L., Kruglikova N.V. Professional sensorineural hearing loss among crew members of civil aircraft // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2015. № 6. P. 12–15.

6. Кругликова Н.В., Ромейко В.Л., Бекенева Т.И., Харитонов А.И. Клинико-гигиенические аспекты профессиональной нейросенсорной тугоухости у лиц летного состава гражданской авиации // Там же. С. 15–18.

Kruglikova N.V., Romeyko V.L., Bekeneva T.I., Kharitonova A.I. Clinico-hygienic aspects of occupational sensorineural hearing loss in flying personnel of civil aviation // Ibid. P. 15–18.

7. Вожжова А.И., Захаров В.К. Защита от шума и вибрации на современных средствах транспорт. Л., 1968.

Vozhzhova A.I., Zakharov V.K. Protection against noise and vibration on modern transport. Leningrad, 1968.

8. Ушаков И.Б., Симак Т.Г., Зипа О.М. и др. Использование донологического подхода при решении задач врачебно-летной экспертизы // Авиакосм. и экол. мед. 2014. Т. 48. № 6. С. 16–22.

Ushakov I.B., Simakova T.G., Zipa O.M. et al. Use of donosologic approach for the tasks of medical-flight examination // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2014. V. 48. № 6. P. 16–22.

Поступила 19.01.2017

**AVIATION NOISE AS A MAJOR ADVERSE FACTOR IN THE PROFESSIONAL ACTIVITY OF CARRIER-BASED AIRCRAFT TECHNICAL PERSONNEL**

**Plakhov N.N., Glaznikov L.A., Sorokina L.A., Buiyov L.G.**

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).  
2017. V. 51. № 4. P. 34–38

*Aviation noise has a significant negative effect on technical personnel responsible for maintenance of*

*carrier-based aircraft. The paper presents the results of physiological and hygienic assessment of aviation noise as a risk factor of auditory system pathologies and detriment of the functional mobility of oculomotor nerve processes. With extension of the length of service, exposure to high-intensity noise may cause the development of cardiovascular diseases. The authors substantiate the need of effective personal hearing protectors for technical personnel on aircraft carriers.*

Key words: carrier-based aviation, technical personnel, aviation noise, specific and nonspecific effects on organism, personal hearing protectors.

УДК 614.2:616-082

## МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ И МЕДИЦИНСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Орлов О.И., Переведенцев О.В., Мамонова Е.Ю., Леванов В.М.

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

E-mail: levanov53@yandex.ru

*Рассмотрен разработанный авторами метод автоматизированного комплексного анализа медицинской информации в крупной промышленной компании, построенной по дивизиональному принципу и ведущей деятельность в различных, в том числе неблагоприятных, климатогеографических и экологических условиях.*

*Использование средств автоматизации процессов сбора, агрегирования и анализа данных позволяет расширить количество рассматриваемых показателей и повысить оперативность принятия решений по оптимизации процессов и ресурсному обеспечению, направленных на достижение стратегических целей системы медицинского обеспечения.*

*Разработана методика формирования и анализа многоуровневой иерархии интегральных показателей, в которой для оптимизации количества анализируемых параметров предложено на каждом уровне абстракции использовать синтетические показатели, характеризующие различные аспекты системы медицинского обеспечения.*

*Компьютерная программа позволяет проводить расчет и визуализацию интегральных показателей состояния здоровья работников и оценивать качество системы медицинского обеспечения, а использование геоинформационных технологий дает возможность отображать данные с привязкой к пространственным координатам и решать задачи оптимизации процессов медицинской логистики.*

Ключевые слова: автоматизированный анализ, качество медицинской помощи, медицинское обеспечение промышленного производства.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 4. С. 39–44.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-39-44

Цель исследования: разработка, апробация и применение средств автоматизации процессов сбора, агрегирования и анализа данных о состоянии здоровья и качестве медицинской помощи в крупной промышленной компании, направленных на достижение стратегических целей системы медицинского обеспечения персонала.

Охрана здоровья персонала является важной составляющей социальной политики

любой современной коммерческой организации. Менеджмент здоровья включает широкий комплекс мероприятий по улучшению и контролю безопасности условий труда, профилактических и оздоровительных мероприятий, анализ заболеваемости и травматизма и мероприятия по их снижению, создание, поддержание и совершенствование адекватной медицинской инфраструктуры, оценку медицинской, социальной и экономической эффективности ее работы.

Для крупных промышленных организаций, построенных по дивизиональному принципу, насчитывающих десятки предприятий и соответственно здравпунктов, находящихся в различных регионах страны, управленческий учет и анализ множества показателей, относящихся к состоянию здоровья персонала и работе медицинских подразделений, представляет значительные трудности. Ситуация осложняется различиями в сфере деятельности предприятий, их удаленности, численности персонала, климатогеографических и производственных рисках, режиме трудовой деятельности. Поэтому наиболее приемлемым решением является автоматизация процессов сбора, передачи, обработки, анализа и хранения информации.

Известно, что проблема автоматизации неоднократно решалась для различных задач здравоохранения [1, 2], например, для интеграции в медицинскую информационную систему медицинской организации данных учета и формирования отчетности по проведенной диспансеризации определенных групп населения [3], профосмотров [4], электронных медицинских карт [5]. Так, показано, что автоматизация сбора и обработки данных позволяет медицинской организации сократить затраты труда врачей и иных сотрудников на заполнение документации и учет работ, избежать ошибок при составлении отчетов [6]. При этом в автоматизированной информационной системе поддержки управления качеством медицинской помощи может быть реализована схема автоматического импорта фактических данных о значениях показателей или исходных данных для их расчета с использованием веб-сервисов [7, 8].

В настоящее время в управленческой практике получил распространение метод ключевых показателей эффективности (англ. Key Performance Indicators – KPI), применяемый в рамках концепции «Управление по целям». При таком подходе управленческая деятельность осуществляется на основе «предвидения» возможных результатов деятельности и планирования путей их достижения. Значения KPI рассчитываются по фактическим значениям исходных данных, которые затем оцениваются с учетом заданного промежутка плановых значений, что позволяет уведомлять менеджеров об отклонениях, включая превентивное предупреждение и уведомление по факту [9].

Для каждого уровня управления выделяется ограниченное количество показателей. Так, в соответствии с методикой для компании выделяется не более 10 показателей, а на уровне подразделения – не более 7. Это определяется тем, что на каждом уровне управления показатели должны быть полностью понятны сотрудникам и руководителям подразделений, способы их вычисления должны быть прозрачными, и, главное, значения всех KPI должны легко отслеживаться. Следует учитывать, что при увеличении числа показателей уменьшается внимание к каждому из них [10].

Однако для управления системой медицинского обеспечения крупной нефтедобывающей компании метод KPI в классическом варианте не всегда применим, что в первую очередь связано с тем, что не все показатели, отражающие эффективность системы медицинского обеспечения, могут планироваться.

#### *Методика*

Основываясь на методике KPI, авторы разработали методику формирования и анализа многоуровневой иерархии интегральных показателей, в которой для оптимизации количества анализируемых параметров предложено на каждом уровне абстракции использовать специальным образом разработанные синтетические показатели, характеризующие различные аспекты системы медицинского обеспечения.

В общем виде интегральный показатель рассчитывается как взвешенная сумма ряда элементарных показателей (или индикаторов), причем вклад каждого составляющего индикатора пропорционален значимости (весу) этого индикатора. Величины значимости (веса) отдельных составляющих интегрального показателя определяются экспертным путем.

Например, в соответствии с приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 12 апреля 2011 г. № 302н в результате проведения обязательных периодических медицинских осмотров (обследований)

работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, заключительный акт содержит более 60 показателей. Вместо того, чтобы представлять менеджеру сводную таблицу по всем предприятиям компании со всеми параметрами заключительного акта, было выделено 3–5 интегральных показателей, отражающих как общее состояние здоровья обследованного контингента, так и эффективность работы системы медпомощи предприятия.

Аналогичным образом сформированы интегральные показатели, характеризующие соответствие здравпунктов предприятий определенным стандартам, эффективность работы цеховых терапевтов и социальных программ и т.д.

#### *Результаты и обсуждение*

Разработанный авторами программный комплекс позволяет собирать первичные данные от предприятий компании, хранить их в реляционной базе данных и формировать традиционные отчеты. В настоящее время база данных содержит 170 параметров, разделенных на 10 категорий. Вполне естественно, без соответствующей структуризации и обработки оценка их совокупности весьма проблематична. Для упрощения работы с таким объемом информации программный комплекс имеет иерархическую структуру аналитических модулей, посредством которых осуществляется расчет интегральных параметров для каждого уровня анализа и предъявление их пользователю в наиболее удобном для него виде.

На самом верхнем уровне пользователю программного модуля предъявляется не более 8 параметров, характеризующих заболеваемость работников предприятий, соответствие здравпунктов корпоративному стандарту, выполнение социальных программ по страхованию, санаторно-курортному лечению и пропаганде здорового образа жизни (табл.).

Показатели могут быть представлены как в виде абсолютных или относительных числовых значений, так и в виде текстовых характеристик. Например, по результатам анализа заболеваемости с временной утратой трудоспособности результаты отображаются в виде шкалы «Оценка показателей заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ВУТ) по Е.Л. Ноткину» [11] (рис. 1).

Для наглядности восприятия данных в программе осуществляется подсветка показателей в соответствии с цветовой градацией, например, если показатель соответствует норме или выше нее, соответствующая ячейка подкрашивается зеленым цветом, если ниже нормы, но не критично, то соответствующая ячейка подкрашивается желтым цветом, но если показатель намного ниже нормы, то

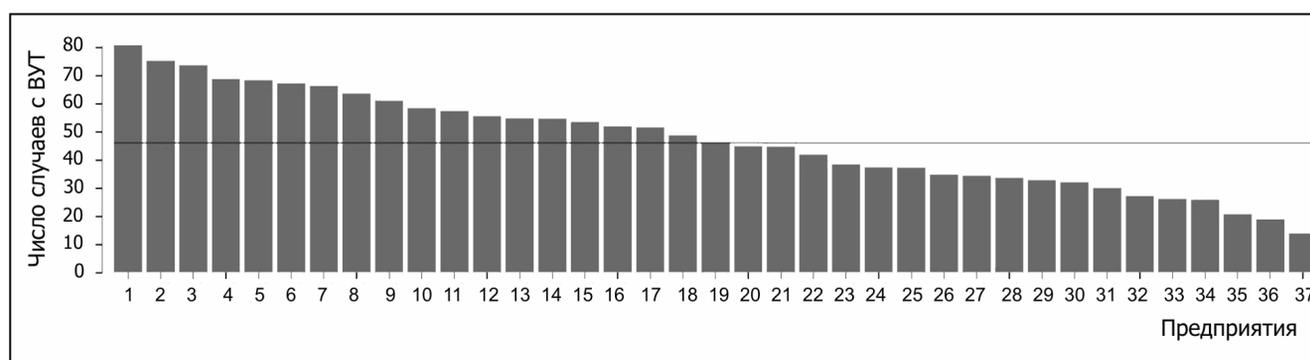


Рис. 1. Среднее количество случаев временной нетрудоспособности на 100 работающих по анализируемым предприятиям

Таблица

**Матрица состояния здоровья работников по предприятиям**

Предприятия (условно)	Заболееваемость		Допуск к профессии	Медицинская помощь	Страхование	Санаторно-курортное лечение	Здоровый образ жизни		Сумма баллов	Рейтинговое место
	Оценка (1 – 5)	Средняя длительность случая					Количество мероприятий	Доля участников		
1	5	11,3	98,3	80,7	107,40	166,30	22	100,00	25	1
2	4	12,5	98,4	80,1	104,90	309,80	27	95,90	24	2
3	4	13	99,1	82,6	97,70	128,70	27	73,80	24	3
4	5	11,7	99,8	90,8	109,80	398,60	14	62,10	24	4
5	4	14,1	99,3	65,8	103,20	1618,2	19	100,00	23	5
6	5	10,1	99	88,4	103,10	158,00	2	56,60	23	6
7	3	11	96,2	89,6	102,80	224,30	75	74,10	23	7
8	5	10	100	86,6	100,00	203,60	6	37,10	23	8
9	2	16,1	99,7	82,6	99,10	97,30	30	55,00	23	9
10	5	11,3	91,3	60,9	98,80	100,00	4	94,40	22	10
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
35	3	12	99,8	74,3	101,90	0,00	0	0,00	18	35
36	5	17,4	84,1	67,8	100,00	100,00	9	29,50	17	36
37	5	14,8	96,2	41,4	123,50	60,00	2	26,10	16	37
38	3	11,2	90,7	47,1	100,80	10,20	10	40,60	16	38

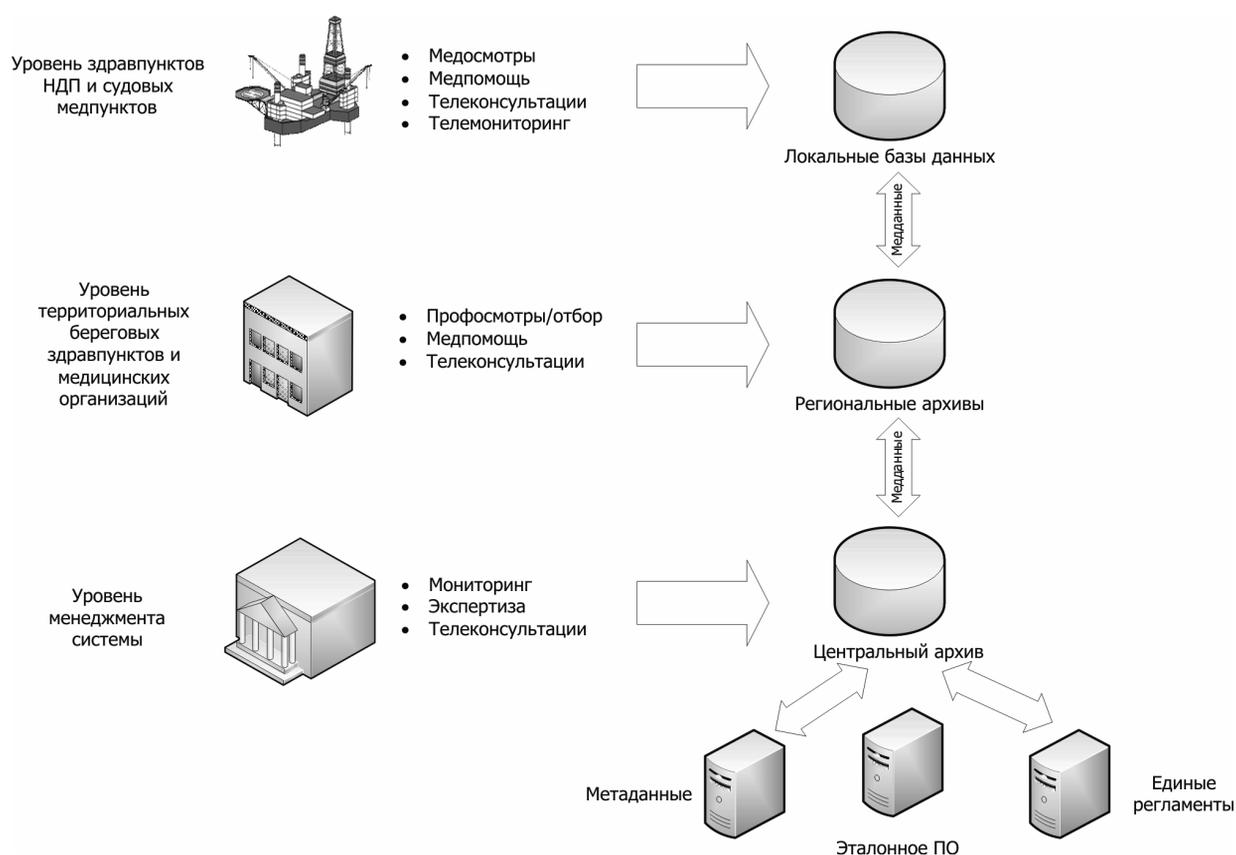


Рис. 2. Функциональная схема системы обмена медицинской информацией

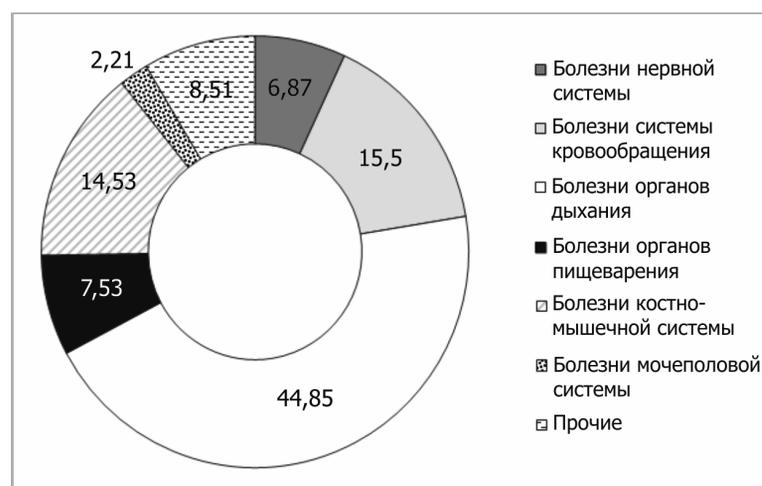


Рис. 3. Структура заболеваемости по предприятиям по классам Международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем 10-го пересмотра (МКБ-10)

соответствующая ячейка подкрашивается красным цветом, что для пользователя означает необходимость наиболее внимательного анализа.

При необходимости пользователь может перейти от интегральных показателей к уровню первичных данных и сравнить показатели выбранного

предприятия с другими предприятиями компании. Аналитический модуль может представить данные как в виде графика, так и в виде таблицы с результатами статистического анализа, отобразив среднее значение данного показателя по компании, отклонение показателя выбранного предприятия от среднего и т.д.

На текущий момент программный комплекс поддерживает 4 уровня иерархии: уровень интегральных показателей, уровень приоритетных первичных данных, уровень первичных данных по конкретному разделу и уровень всех первичных данных выбранного предприятия.

Как было показано выше, крупная нефтесредобывающая компания может насчитывать десятки предприятий и здравпунктов, находящихся в различных регионах страны (рис. 2).

В этом случае для анализа данных эффективным решением является использование технологий геоинформационных систем. Геоинформационная система – система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах

[12]. Геоинформационный модуль разработанного программного комплекса позволяет не только отображать на карте различные объекты компании, но и формировать отчеты по выбранному объекту.

Помимо функционала визуализации объектов компании на географической карте геоинформационный модуль позволяет решать логистические задачи по оптимизации транспортировки заболевших или травмированных работников отдаленных производств в медицинские учреждения, а также по доставке расходных материалов и медикаментов на здравпункты.

В основе функционирования программного комплекса лежит архитектура клиент – сервер, в результате чего обращение к базе данных осуществляется посредством «тонкого» клиента – интернет-браузера. Пользователь выбирает один из модулей, который и загружается для исполнения в интернет-браузере.

Помимо модулей ввода и редактирования первичной информации, пользователям доступны модули формирования отчетов и графиков, а также описанные выше аналитические модули (рис. 3).

Следует отметить, что заметной проблемой при эксплуатации описанного выше программного комплекса является возможность ввода в базу данных неполных, ошибочных или недостоверных данных. Одной из причин является проведение периодических медицинских осмотров на предприятиях в разное время, что приводит к тому, что не все предприятия могут сдать заключительный акт одновременно. Также существует потенциальная вероятность технических ошибок при вводе данных или умышленного искажения с целью «повышения рейтинга» предприятия.

Решением указанных проблем стала разработка специализированного модуля, посредством которого оценивается полнота представленных данных, проводится их перекрестный анализ, а также на основе статистической обработки оцениваются данные одного предприятия на фоне остальных предприятий компании.

#### Выводы

1. Децентрализованная инфраструктура промышленных объектов затрудняет проведение оперативного анализа состояния здоровья персонала и эффективности деятельности медицинских подразделений, что требует автоматизации сбора и анализа данных, формирования отчетов для принятия обоснованных управленческих решений.

2. Разработанная концепция программного обеспечения предусматривает многофакторный анализ показателей здоровья и медицинской помощи как по предприятиям, так и по здравпунктам, обслуживающим персонал компании.

3. Основными сведениями, формирующими базу данных, являются параметры, характеризующие систему медпомощи на предприятии (данные об организации плановой и экстренной медпомощи на предприятии, уровне заболеваемости и травматизма среди работников предприятия, информация о страховании на предприятии, санаторно-курортном лечении и культуре здорового образа жизни), и информация о соответствии здравпунктов корпоративным стандартам.

4. Использование интегральных показателей и геоинформационных технологий повышает эффективность анализа больших объемов данных при формировании управленческих решений в области отраслевого здравоохранения.

#### Список литературы

1. *Мирошников И.С., Курбесов А.В.* Об опыте разработки и внедрения медицинских информационных систем // *Здравоохранение: журнал для руководителя и главного бухгалтера.* 2011. № 6. С. 84–90.

*Miroshnikov I.S., Kurbesov A.V.* On the experience of the development and implementation of medical information systems // *Zdravookhranenie: zhurnal dlya rukovoditelya i glavnogo bukhgaltera.* 2011. № 6. P. 84–90.

2. *Тавровский В.М.* Зачем и как автоматизировать лечебно-диагностический процесс? // *Мед. алфавит.* 2008. Т. 3. № 13. С. 19–22.

*Tavrovsky V.M.* Why and how to automate the diagnostic and treatment process? // *Meditsinskiy alfavit.* 2008. V. 3. № 13. P. 19–22.

3. *Щербakov С.М.* Автоматизация процесса проведения диспансеризации // *Главный врач Юга России.* 2014. №1 (38). С. 39.

*Shcherbakov S.M.* Automating the process of clinical examination of dispensary // *Glavniy vrach Yuga Rossii.* 2014. № 1 (38). P. 39.

4. *Яковлева Т.В., Вылегжанин С.В., Бойцов С.А.* Диспансеризация взрослого населения Российской Федерации: первый год реализации, опыт, результаты, перспективы. [Электронный ресурс] // *Социальные аспекты здоровья населения: электр. науч. журн.* 2014. № 3. URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/category/5/71/30/> (дата обращения: 04.03.2017).

*Yakovleva T.V., Vylegzhanin S.V., Boitsov S.A.* Dispensary of the adult population of the Russian Federation: the first year of implementation, experience, results and prospects // *Socialnye aspekty zdorov'ya naseleniya.* 2014. № 3. URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/category/5/71/30/> (date of the application: 04.02.2017).

5. *Малаев А.А., Савенко Е.С., Маркина Т.А.* Электронная история болезни, разработанная коллективом детской больницы, как один из основных аспектов автоматизации в системе здравоохранения // *Детская больница.* 2014. № 1 (55). С. 3–9.

*Malaev A.A., Savenko E.S., Markina T.A.* Electronic Case History, developed by a team at Children's Hospital, as one of the main aspects of automation in the health system // *Detskaya bol'nitsa*. 2014. № 1 (55). P. 3–9.

6. *Дробышевский М.А.* Автоматизация управления деятельностью ЛПУ на базе интегральной медико-экономической модели медицинской услуги // *Врач и информационные технологии*. 2005. № 5. С. 41–43.

*Drobyshevsky M.A.* Automation of LPU management activity on base of integrated health-economic model of medical services // *Vrach i informatsionnye tekhnologii*. 2005. № 5. P. 41–43.

7. *Леванов В.М., Переведенцев О.В., Орлов О.И.* Основы аппаратно-программного обеспечения телемедицинских услуг. М., 2006.

*Levanov V.M., Perevedentsev O.V., Orlov O.I.* Basics of hardware and software of telemedicine services. Moscow, 2006.

8. *Леванов В.М., Орлов О.И., Камаев И.А., Переведенцев О.В.* От телемедицины к электронному здравоохранению: Монография. М., 2012.

*Levanov V.M., Orlov O.I., Kamaev I.A., Perevedentsev O.V.* From telemedicine to e-health service: Monograph. Moscow, 2012.

9. *Панов М.М.* Оценка деятельности и система управления компанией на основе KPI. М., 2013.

*Panov M.M.* Evaluation of activities and the company management system based on KPI. Moscow, 2013.

10. *Капилевич О.Л., Марков Н.Г.* Информационная система управления эффективностью бизнеса на основе KPI // *Известия Томского политехнического университета*. 2010. Т. 317. № 5. С. 178–183.

*Kapilevich O.L., Markov N.G.* Information management system for business performance based on KPI // *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2010. V. 317. № 5. P. 178–183.

11. *Ноткин Е.Л.* Об углубленном анализе данных заболеваемости с временной нетрудоспособностью // *Гигиена и санитария*. 1979. № 5. С. 40–46.

*Notkin E.L.* On the in-depth data analysis of morbidity with temporary disability // *Gigiena i sanitariya*. 1979. № 5. P. 40–46.

12. *Журкин И.Г., Шайтура С.В.* Геоинформационные системы. М., 2009.

*Zhurkin I.G., Shaytura S.V.* Geoinformation systems. Moscow, 2009.

Поступила 06.04.2017

## **METHOD OF AUTOMATED COMPLEX ANALYSIS OF HEALTH AND MEDICAL PROVISION IN EXTREME OCCUPATIONAL ENVIRONMENTS**

**Orlov O.I., Perevedentsev O.V., Mamonova E.Yu., Levanov V.M.**

*Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia)*. 2017. V. 51. № 4. P. 39–44

*The paper presents an authors' method of automated complex analysis of medical information in a major industrial company comprising several divisions and operating in different regions including those with harsh climate, and unhealthy environment.*

*Automation of data acquisition, aggregation and analysis extends the number of indices and speeds up decision-making for optimization of processes and resources aimed to achieve the strategic goals in healthcare. In order to optimize the number of integral indices within multilevel hierarchy, synthetic indices related to various healthcare aspects were proposed at each level of abstraction.*

*The computer program calculates and renders integral indices of staff health and medical system quality, whereas geo-information technologies allow data binding to spatial co-ordinates and solve a problem of optimization of medical logistics.*

**Key words:** automated analysis, medical care quality, healthcare in industrial production.

УДК 613.6.02:66.027

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНОГО РЕЖИМА ЛЕЧЕБНОЙ РЕКОМПРЕССИИ С ИСХОДНЫМ ДАВЛЕНИЕМ 4 АТА

Николаев В.П., Соколов Г.М.

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

E-mail: viknik@imbp.ru

*Представлено теоретическое обоснование эффективности действия на пациентов с декомпрессионной болезнью (ДБ) режима лечебной рекомпрессии с исходным давлением воздуха в барокамере 4 ата, экспозицией при этом давлении в течение 1 ч и последующей декомпрессией до наземного уровня в течение 5 сут. Действие этого режима обеспечивает растворение в тканях газовых пузырьков более крупного размера, чем при традиционно используемых режимах лечебной рекомпрессии. При этом пациенты получают более длительную лечебную оксигенацию, будучи практически полностью застрахованными от угрозы возникновения азотного наркоза и токсического действия кислорода на легкие. Декомпрессия, завершающая этот режим лечебной рекомпрессии, не вызывает перенасыщения азотом медленных тканей, что исключает возможность образования в них новых газовых пузырьков и возникновения новых симптомов ДБ.*

Ключевые слова: декомпрессия, газовые пузырьки, декомпрессионная болезнь, режимы лечебной рекомпрессии, математическое моделирование.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 4. С. 45–51.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-45-51

Декомпрессионная болезнь (ДБ) у водолазов вызывается газовыми пузырьками (ГП), которые образуются в крови и других тканях при перенасыщении растворенными в них газами, возникающими при снижении внешнего давления на этапе подъема на поверхность. Основным средством профилактики этой болезни является соблюдение водолазом предписанного для каждого конкретного погружения режима декомпрессии. Однако практика подводных погружений показывает, что при использовании стандартных режимов декомпрессии ДБ возникает с вероятностью около 0,02 [1, 2]. Более того, риск заболевания ДБ у водолазов значительно повышается в случаях нарушения этих режимов. Чаще всего симптомы ДБ возникают на этапе декомпрессии и в первый час пребывания на поверхности, наибольшее время задержки их проявления достигает 15 ч после завершения погружения [3]. В некоторых случаях симптомы ДБ у водолазов проявляются спустя более 24 ч после подъема на поверхность.

Позднее проявление симптомов ДБ часто встречается у водолазов, совершающих полет на самолете или высокогорное восхождение спустя день или два после погружения.

Радикальным методом лечения ДБ у водолазов является воздействие на них компрессии до определенного уровня внешнего давления с последующей медленной декомпрессией. Дыхание смесью с повышенным парциальным давлением кислорода при таких процедурах не только ускоряет растворение имеющихся в тканях ГП, но и оказывает прямое терапевтическое действие на вызванные ими нарушения. Фундаментальные принципы лечения ДБ методом рекомпрессии были сформулированы еще в первой половине XX в. [4]. Во-первых, процедура рекомпрессии должна приводить к растворению или значительному уменьшению размера имеющихся в тканях ГП; во-вторых, последующая декомпрессия должна гарантировать, что эти пузырьки не начнут снова вызывать симптомы заболевания; в-третьих, декомпрессию следует проводить таким образом, чтобы предупредить образование новых пузырьков.

Режимы рекомпрессии, разработанные в США, Великобритании, Франции и России для лечения у водолазов ДБ различного типа, отличаются друг от друга по величине максимального давления и длительности его воздействия, составу газовой среды в барокамере или дыхательной смеси и режиму последующей декомпрессии. При лечении ДБ, возникшей после погружений при дыхании воздухом, наиболее широкое применение за рубежом получил кислородный режим рекомпрессии 6 ВМФ США с исходным давлением 2,8 ата и длительностью 5 ч [5]. Однако режимы рекомпрессии, основанные на использовании лечебного действия сжатого воздуха, имеют более высокое исходное давление и сравнительно большую длительность. Так, например, воздушный режим лечебной рекомпрессии 72 ВМФ Великобритании [5] предписывает 2-часовое пребывание пациента в барокамере при давлении 6 ата и последующее плавное снижение давления до наземного уровня в течение 46 ч. Несколько большую длительность имеет воздушный режим лечебной рекомпрессии ПВС ВМФ России [6] с исходным давлением 8 ата.

К сожалению, указанные выше принципы лечения ДБ далеко не всегда реализуются даже при незамедлительном его начале. В частности, при лечении ДБ по кислородному режиму 6 ВМФ США легкие и умеренные симптомы этой болезни исчезают у 73–100 % больных, а тяжелые симптомы – лишь у 13–63 % пациентов [7–9]. Однократное действие кислородного режима 6А ВМФ США, включающего в себя пребывание водолазов в воздушной среде при давлении 6 ата в течение первых 30 мин и использование воздушных режимов рекомпрессии, также зачастую не дает положительных результатов. Вполне очевидно, что лечение ДБ не дает желаемого результата в случаях неполного растворения имеющихся в тканях водолазов ГП и недостаточно длительного терапевтического действия повышенного парциального давления кислорода во вдыхаемой газовой смеси и артериальной крови на вызываемые ими патологические изменения. Кроме того, при стандартных воздушных режимах лечебной рекомпрессии на конечной стадии декомпрессии возникает перенасыщение азотом «медленных» тканей сверх допустимого уровня, что может вызвать усиление старых и появление новых симптомов ДБ.

Незамедлительное лечение ДБ у водолазов на месте погружения обычно проводят по режимам рекомпрессии, устраняющим исходное перенасыщение всех тканей азотом. С другой стороны, водолазная практика показывает, что вероятность излечения от этой болезни снижается в случаях отсроченного начала лечения. В ИМБП (ГНЦ РФ – ИМБП РАН) проведено успешное отсроченное лечение ДБ в кислородно-азотно-гелиевой среде длительностью 5–6 сут и более (в зависимости от тяжести заболевания) у 53 дайверов, водолазов, кессонных рабочих и лиц, пострадавших при разгерметизации самолета [10]. При этом сначала применяли режимы лечебной рекомпрессии с исходным давлением не более 5–7 ата, а затем было решено повысить его до 8–11 ата, что не привело, однако, к выраженному увеличению эффективности лечения.

При отсроченном начале лечения ДБ нет необходимости использовать режимы рекомпрессии с большим исходным давлением, поскольку перенасыщение тканей азотом практически полностью исчезает через сутки после подъема на поверхность. Поэтому можно полагать, что в этих ситуациях успешное лечение ДБ могут обеспечить воздушные режимы рекомпрессии с исходным давлением 4 ата [11].

Целью данной работы является теоретическое обоснование эффективности воздушного режима лечебной рекомпрессии с 1-часовым пребыванием пациента в барокамере при давлении 4 ата (30 м вод. ст.) и последующего снижения давления до наземного уровня в течение 5 сут. При решении этой задачи мы сравнили действие этого режима рекомпрессии и режимов 72 ВМС Великобритании, ПВС

ВМФ и ИМБП на динамику парциального давления азота в тканях и процесс растворения в них ГП заданного размера по математической модели [12, 13].

### Методика

Газовые пузырьки, образующиеся в тканях человека при воздействии перепадов давления, окружены слоем межклеточной жидкости и слоем тканевых клеток. Математическая модель [12, 13] описывает эволюцию размера сферического ГП и напряжения азота в межклеточной полости и окружающем слое ткани совместно с эволюцией их размера системой из 5 дифференциальных уравнений. Однако малые исходные размеры межклеточных полостей практически не влияют на динамику изменения размера ГП, а присущая тканям эластичность лимитирует этот процесс лишь при их концентрации более  $10^5 \text{ см}^{-3}$ . Поэтому при описании динамики изменения размера единичного ГП и напряжения азота в окружающей его ткани в зависимости от профиля изменения давления и состава дыхательной смеси вполне допустимо использовать систему из 2 уравнений [14, 15], параметрами которых являются период полунасыщения и полурассыщения ткани от азота ( $T_{1/2}$ ), эффективный коэффициент диффузии азота в окружающей ГП ткани ( $D_T$ ) и поверхностное натяжение тканевой жидкости ( $\gamma$ ).

В перенасыщенных газами тканях ГП образуются в межклеточных полостях из микроскопических газовых ядер критического размера. Рост пузырьков начинается с диффузии в них азота, содержащегося в прилегающей к ним межклеточной жидкости. Дальнейший рост ГП происходит в результате диффузии содержащегося в ткани азота через межклеточные каналы, имеющие сравнительно малую суммарную площадь сечения, и через массивный слой тканевых клеток, мембраны которых имеют меньшую проницаемость для газов по сравнению с межклеточной жидкостью. Отсюда эффективный коэффициент диффузии азота в окружающей ГП ткани значительно меньше коэффициента диффузии азота в межклеточной жидкости. Более того, в процессе роста ГП происходит дальнейшее снижение  $D_T$  в результате уплотнения окружающего его слоя тканевых клеток и сужения межклеточных каналов, а также в результате обрастания его поверхности оболочкой из поверхностно-активных веществ, толщина которой сопоставима с толщиной клеточных мембран ( $2-3 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}$ ). Эта оболочка ГП снижает поверхностное натяжение окружающей его жидкости с 60 до 30–50  $\text{дин} \cdot \text{см}^{-1}$  [16] и тем самым снижает давление газов внутри пузырька, что способствует некоторому увеличению скорости его роста.

Таким образом, в процессе роста ГП коэффициент диффузии азота в окружающей его ткани снижается от  $3 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$  (коэффициента диффузии азота в

**Изменение размера 20-микронных газовых пузырьков и длительность их полного растворения в тканях с различными значениями  $T_{1/2}$  при  $\gamma = 30 \text{ дин} \cdot \text{см}^{-1}$  и 2 возможных значений параметра  $D_r$  при рекомпрессии до 2, 4, 6 и 8 ата**

№ п/п	Воздействие (процедура)	$pO_{2r}$ , ата	Радиус ГП, мкм	$D_r$ , $\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$	$T_{1/2}$ тканей, мин				
					5	100	200	300	640
					Длительность жизни ГП, мин				
1	1 ата/воздух	0,21	20	$3 \cdot 10^{-8}$ $3 \cdot 10^{-9}$	589	589	589	589	589
					5890	5890	5890	5890	5890
2	2 ата/кислород	2,0	15,87	$3 \cdot 10^{-8}$ $3 \cdot 10^{-9}$	62	84	89	91	94
					598	652	699	734	804
3	4 ата/воздух	0,84	12,6	$3 \cdot 10^{-8}$ $3 \cdot 10^{-9}$	145	49	46	45	44
					1648	1242	875	690	533
4	6 ата/воздух	1,26	11	$3 \cdot 10^{-8}$ $3 \cdot 10^{-9}$	101	33	31	31	31
					1219	785	504	418	350
5	8 ата/воздух	1,68	10	$3 \cdot 10^{-8}$ $3 \cdot 10^{-9}$	77	25	25	24	24
					994	553	357	308	270

воде и межклеточной жидкости) до  $10^{-7}$ – $10^{-9} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$  [17, 18] и даже до  $7 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$  [19]. Кинетика его изменения неизвестна, но его величина, по-видимому, достигает минимума в момент окончания роста ГП. При подъеме водолазов на поверхность по стандартным режимам декомпрессии ткани с малыми значениями  $T_{1/2}$  (быстрые ткани) перенасыщаются азотом до более высокого уровня по сравнению с тканями с большими значениями этого параметра (медленными тканями). Рост ГП, образующихся в быстрых тканях, продолжается сравнительно малое время, и при неизменной для всех тканей величине  $D_r$  они вырастали бы до сравнительно малого размера. Однако при снижающейся с течением времени величине  $D_r$  пузырьки в быстрых тканях могут достигать размера, сопоставимого с размером пузырьков в медленных тканях. Кинетика изменения  $D_r$  в процессе последующего растворения ГП в тканях на этапе декомпрессии и при наземном давлении также неизвестна, но при воздействии рекомпрессии происходит дополнительное уплотнение оболочки ГП из поверхностно-активных веществ и поэтому процесс их растворения в этой ситуации начинается при дополнительно сниженных значениях  $D_r$  и  $\gamma$ .

#### Результаты и обсуждение

Ранее нами было показано, что выполнение водолазами стандартных погружений при дыхании воздухом может вызвать образование в их тканях ГП с радиусом порядка 20 мкм [14, 15]. Лечебное действие рекомпрессии на водолазов с симптомами ДБ начинается со сжатия имеющихся в тканях ГП и ускорения процесса их растворения в результате значительного увеличения парциального давления азота в пузырьках относительно парциального давления этого газа в окружающих тканях. При этом неподвижные ранее

внутрисосудистые ГП приобретают возможность движения по венозному руслу и быстрого растворения в легочных капиллярах. Терапевтическое действие повышенного парциального давления кислорода во вдыхаемой смеси на пораженные пузырьками ткани проявляется с началом рекомпрессии.

В таблице показано изменение размера ГП в тканях водолаза с возможным исходным радиусом 20 мкм при воздействии рекомпрессии до 2, 4, 6 и 8 ата. Здесь же представлены результаты расчетов по уравнениям модели [14, 15] длительности их полного растворения при этих воздействиях в тканях с различными значениями  $T_{1/2}$  при  $\gamma = 30 \text{ дин} \cdot \text{см}^{-1}$  и 2 возможных значениях параметра  $D_r$ . Скорость растворения ГП возрастает с увеличением внешнего давления и снижается с уменьшением параметра  $D_r$ . Сравнительно медленное растворение ГП в быстрых тканях обусловлено более быстрым насыщением их азотом воздуха по сравнению с медленными тканями. Следует отметить, что при длительном пребывании в среде сжатого воздуха человек дышит смесью с высоким парциальным давлением азота и кислорода и тем самым подвергается азотному наркозу и отравлению кислородом.

При воздушных режимах лечебной рекомпрессии, применяемых 72 ВМС Великобритании [5] и ПВС ВМФ России [6] с исходным давлением в барокамере соответственно 6 и 8 ата, пациенты находятся в течение 2 ч, что снижает опасность развития у них выраженных проявлений азотного наркоза. Тем не менее, при режиме 72 ВМФ Великобритании, имеющем длительность 46 ч, пациенты подвергаются умеренному токсическому действию кислорода на легочную ткань. Действительно, при этом режиме парциальное давление кислорода в барокамере в течение первых 120 мин составляет 1,2 ата, а затем в течение последующих 1200 мин снижается

до общепризнанного безопасного уровня 0,5 ата. Согласно расчетам по формуле, представленной в работах [20, 21], при дыхании воздухом барокамеры в течение 1320 мин пациент аккумулирует 1050 единичных доз интоксикации легких (ЕДИЛ), что приводит к обратимому, как правило, снижению жизненной емкости легких на 6 % [22].

Режим лечебной рекомпрессии ПВС ВМФ России длительностью 53 ч, казалось бы, создает более серьезную угрозу возникновения у пациента поражения легких кислородом из-за более высокого исходного уровня его парциального давления в барокамере 1,6 ата. Однако при этом режиме происходит более быстрое его снижение до уровня 0,5 ата, в результате чего пациент аккумулирует всего лишь 490 ЕДИЛ. Многочисленные исследования токсического действия кислорода свидетельствуют о том, что жизненная емкость легких человека остается практически неизменной при аккумуляции менее 615 ЕДИЛ [21].

Данные таблицы показывают, что 2-часовая длительность действия исходных уровней давления при указанных выше режимах лечебной рекомпрессии недостаточна для полного растворения в тканях 20-микронных пузырьков при  $D_T = 3 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ . Ранее мы показали, что процесс растворения таких ГП в самых быстрых тканях при режиме рекомпрессии 72 ВМФ Великобритании завершается через 34 ч после его начала [15, 22], а при режиме рекомпрессии ПВС ВМФ России лишь на конечном этапе его действия [23]. Более медленное растворение ГП при режиме ПВС ВМФ России обусловлено более быстрым снижением давления на начальном этапе декомпрессии. Тем не менее при обоих этих режимах давление в барокамере снижается со скоростью, превышающей скорость снижения парциального давления азота в наиболее медленных тканях. Поэтому с некоторого момента времени эти ткани становятся перенасыщенными азотом сверх допустимого уровня, что создает возможность образования в них новых ГП и возникновения новых симптомов ДБ.

Кислородно-азотно-гелиевый режим лечебной рекомпрессии ИМБП [24] с исходным давлением 8 ата и экспозицией при этом давлении в течение 1,5 ч завершается декомпрессией длительностью 5 сут. При этом режиме рекомпрессии исходное парциальное давление азота в барокамере равно 3,2 ата, и поэтому пациент практически застрахован от угрозы возникновения у него азотного наркоза. Более того, пациент полностью застрахован и от токсического действия кислорода на легкие, поскольку, согласно расчетам по указанной выше формуле, за время пребывания при исходном уровне парциального давления кислорода в барокамере 0,8 ата и его последующего снижения до уровня 0,5 ата он аккумулирует всего лишь 285 ЕДИЛ.

Процесс растворения в тканях 20-микронных пузырьков при  $D_T = 3 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$  при этом режиме рекомпрессии завершается в течение первых 2 сут, как и при режиме ПВС ВМФ России. Причем растворение ГП в тощих тканях происходит быстрее из-за более высокой диффузионной проницаемости гелия в этих тканях по сравнению с азотом, но в жировых тканях процесс их растворения происходит медленнее из-за более высокой скорости насыщения этих тканей гелием и меньшей диффузионной проницаемости гелия по сравнению с азотом [23]. Завершение растворения в тканях 20-микронных ГП в течение первых 2 сут свидетельствует о том, что в течение последующих 3 сут действия этого режима лечебной рекомпрессии в тканях могут раствориться и ГП более крупного размера. Важно отметить, что при длительной декомпрессии, завершающей этот режим, наиболее медленные ткани приобретают лишь небольшое перенасыщение азотом и гелием, при котором практически исключена возможность образования в них новых ГП и возникновения новых симптомов ДБ. При этом режиме пациент более длительное время дышит умеренно гипероксической смесью, что создает более эффективное терапевтическое действие кислорода на пораженные пузырьками ткани по сравнению с указанными выше режимами. Как было отмечено выше, свидетельством высокой эффективности действия кислородно-азотно-гелиевых режимов рекомпрессии длительностью 5–6 сут и более является проведенное в ИМБП успешное отсроченное лечение ДБ у 53 пациентов в барокамере, оснащенной системами жизнеобеспечения для длительного пребывания человека в условиях повышенного давления [6].

С технической точки зрения более простым способом лечения пациентов с симптомами ДБ средней тяжести является многократное воздействие на них рекомпрессии до давления 2 ата и выше, при котором в течение 1 ч они дышат чистым кислородом. Однако терапевтическое действие этих кратковременных процедур гипербарической оксигенации менее эффективно по сравнению с непрерывным действием умеренно гипероксической газовой среды при режиме лечебной рекомпрессии ИМБП и при представленном ниже воздушном режиме лечебной рекомпрессии с исходным давлением 4 ата. Действительно, при однократном действии указанной процедуры радиус имеющихся в тканях 20-микронных ГП уменьшается только до 18,9 мкм [23] и, как показывают данные таблицы, такие пузырьки могут полностью раствориться лишь после действия 10 процедур. Во избежание токсического действия кислорода на легкие такие процедуры следует проводить не более 1 раза в сутки, поскольку за время действия каждой из них пациенты аккумулируют 150 ЕДИЛ. Неудивительно, что излечение пациентов от ДБ при применении гипербарической

оксигенации происходит лишь после воздействия на них от 10 до 40 сеансов, т.е. через 10–40 сут [25]. Безвредность действия на легочную ткань такого количества процедур представляется весьма сомнительной.

На рисунке в виде кривой В отображен профиль изменения давления при предлагаемом нами воздушном режиме лечебной рекомпрессии с исходным давлением 4 ата, экспозицией при этом давлении в течение 1 ч и последующей декомпрессией длительностью 5 сут. Этот режим, как и кислородно-азотно-гелиевый режим лечебной рекомпрессии ИМБП, практически не создает угрозу возникновения у пациентов азотного наркоза. Более того, при данном профиле изменения давления воздуха в барокамере пациенты застрахованы и от угрозы кислородной интоксикации легких. Действительно, согласно расчетам по указанной выше формуле, за время пребывания при исходном уровне парциального давления кислорода в барокамере 0,8 ата и его последующего снижения до уровня 0,5 ата они аккумулируют 412 ЕДИЛ, т.е. значительно меньше предельно безопасной величины 615 ЕДИЛ.

Расчеты по уравнениям модели [14, 15] показывают, что при этом режиме парциальное давление азота в ткани с параметром  $T_{1/2} = 640$  мин изменяется в соответствии с кривой  $P_3$ , а динамика растворения ГП с исходным радиусом 20 мкм при  $D_T = 3 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$  в тканях с параметром  $T_{1/2}'$  равном 5, 200, 640 мин, протекает в соответствии с кривыми  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$ ,  $\Pi_3$ . Процессы полного растворения этих ГП завершаются соответственно за 2285, 1595, 654 мин, и поэтому можно ожидать, что за время действия этого режима лечебной рекомпрессии в тканях могут раствориться ГП более крупного размера. Расположение кривой  $P_3$  ниже кривой В свидетельствует о том, что декомпрессия, завершающая этот режим, не вызывает перенасыщения азотом даже наиболее медленных тканей и поэтому ее можно считать практически абсолютно безопасной. Важно отметить также, что при этом режиме парциальное давление кислорода в барокамере удерживается на уровне 0,5 ата и выше более длительно, чем при всех используемых на практике режимах рекомпрессии, в результате чего пациенты получают более высокую и в то же время безопасную лечебную дозу кислорода. Таким образом, имеются все основания полагать, что эффективность действия предлагаемого нами воздушного режима лечебной рекомпрессии при отсроченном начале лечения ДБ у водолазов не уступает эффективности действия кислородно-азотно-гелиевого режима рекомпрессии ИМБП. К тому же этот режим является более доступным и простым с технической точки зрения и реализуется с меньшими материальными затратами.

В заключение отметим, что действие предлагаемого нами режима лечебной рекомпрессии будет

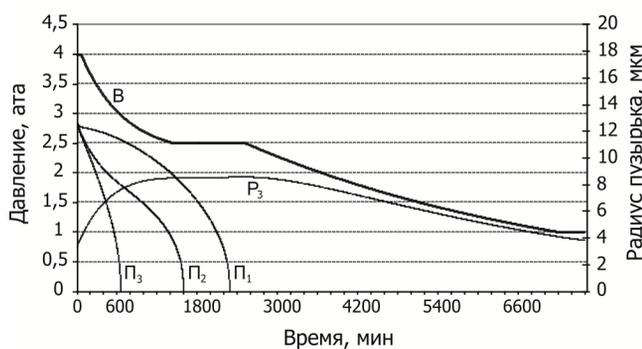


Рисунок. Воздушный режим лечебной рекомпрессии с исходным давлением 4 ата.

В – профиль изменения давления в барокамере;  $P_3$  – траектория изменения парциального давления азота в ткани с параметром  $T_{1/2} = 640$  мин;  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  – динамика растворения газовых пузырьков с исходным радиусом 20 мкм в тканях с параметром  $T_{1/2}'$  равном соответственно 5, 200 и 640 мин, при эффективной скорости диффузии азота между пузырьками и окружающими их тканями  $3 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$

эффективным и при незамедлительном начале лечения ДБ, возникшей у водолазов после завершения кратковременных погружений на глубины до 40 м. Ранее (в 60–70-е годы прошлого века) в этих ситуациях лечение ДБ у водолазов ВМС Великобритании [26] и ВМС Франции [27] проводили по воздушным режимам лечебной рекомпрессии с исходным давлением 4 ата при общей длительности 7 ч. Однако в свете вышеизложенного действие таких режимов оказывается недостаточным для полного растворения образовавшихся в тканях водолазов ГП и создает опасное перенасыщение азотом наиболее медленных тканей, что и явилось причиной их малой эффективности при лечении ДБ.

#### Выводы

1. При воздушном режиме лечебной рекомпрессии с исходным давлением воздуха в барокамере 4 ата, экспозицией при этом давлении в течение 1 ч и последующей декомпрессией до наземного уровня в течение 5 сут пациенты практически полностью застрахованы от угрозы возникновения азотного наркоза и токсического действия кислорода на легочную ткань.

2. За время его действия в тканях пациентов могут раствориться ГП более крупного размера, чем при традиционно используемых режимах рекомпрессии, имеющих сравнительно малую длительность. При этом поврежденные пузырьками ткани получают более высокую лечебную дозу кислорода.

3. Декомпрессия, завершающая этот режим, не создает перенасыщение азотом медленных тканей, что исключает возможность образования в них

новых газовых пузырьков и возникновения новых симптомов ДБ.

4. Имеются все основания полагать, что действие этого режима будет эффективным как в случаях отсроченного начала лечения ДБ у водолазов, совершивших погружения на различные глубины, так и при незамедлительном лечении этой болезни, возникшей при выполнении погружений на глубины до 40 м.

5. Предложенный нами воздушный режим лечебной рекомпрессии является более доступным и простым с технической точки зрения и реализуется с меньшими материальными затратами.

*Работа выполнена в рамках базовой темы РАН № 64.1.*

### Список литературы

1. Vann R.D. Decompression theory and application // *The physiology and medicine of diving* / P.B. Bennett, D.H. Elliott, eds. Sun Pedro, 1982. P. 352–382.
2. Van Liew H.D., Flynn E.T. Decompression tables and dive-outcome data: graphical analysis. // *Undersea Hyperb. Med.* 2005. V. 32. № 4. P. 187–198.
3. Elliott D.H., Kindwall E.P. Manifestations of the decompression disorders // *The physiology and medicine of diving* / P.B. Bennett, D.H. Elliott, eds. Sun Pedro, 1982. P. 461–472.
4. Behnke A.R., Shaw L.A. The use of oxygen in the treatment of compressed air illness // *Nav. Med. Bul.* 1937. V. 35. P. 61–73.
5. Davis J.C., Elliott D.H. Treatment of the decompression disorders // *The physiology and medicine of diving* / P.B. Bennett, D.H. Elliott, eds. Sun Pedro, 1982. P. 473–487.
6. Правила водолазной службы (ПВС-ВМФ-2002). М., 2002.  
Rules of diving service (RDS-VMF-2002). Moscow, 2002.
7. Vann R.D., Denoble P.J., Howle L.E. et al. Resolution and severity in decompression illness // *Aviat. Space Environ. Med.* 2009. V. 80ю № 5. P. 466–471.
8. Xu W., Liu W., Huang G. et al. Decompression illness: clinical aspects of 5278 consecutive cases treated in a single hyperbaric unit // *PloS one.* 2012. V. 7. № 11. P. e50079.
9. Boussuges A., Thirion X., Blanc P. et al. Neurologic decompression illness: a gravity score // *Undersea Hyperb. Med.* 1996. V. 23. № 3. P. 151–155.
10. Логунов А.Т., Соколов Г.М. Новый высокоэффективный метод лечения декомпрессионной болезни и баротравмы легких // *Науч.-практ. рецензируемый журнал «Морская медицина».* 2016. Т. 2. № 1. С. 75–80.  
Logunov A.T., Sokolov G.M. The new highly effective method for treatment of decompression sickness and pulmonary barotrauma // *Nauchno-prakticheskiy retsenziruemy zhurnal «Morskaya meditsina».* 2016. V. 2. № 1. P. 75–80.
11. Николаев В.П., Григорьев А.И. Проблемы профилактики и лечения декомпрессионной болезни у водолазов // *Вестник РАН.* 2015. Т. 85. № 11. С. 1005–1010.  
Nikolaev V.P., Grigoriev A.I. Problems of prevention and treatment of decompression sickness in divers // *Vestnik RAN.* 2015. V. 85. № 6. P. 504–509.
12. Николаев В.П. Динамика газовых пузырьков в гетерогенных по структуре и диффузионной проницаемости тканях организма при декомпрессии // *Доклады РАН.* 1999. Т. 366. № 1. С. 133–137.  
Nikolaev V.P. Dynamics of decompression gas bubbles in body tissues with heterogeneous structure and diffusion permeability // *Doklady RAN.* 1999. V. 366. P. 217–221.
13. Nikolaev V.P. Effects of heterogeneous structure and diffusion permeability of body tissues on decompression gas bubbles dynamics // *Aviat. Space Environ. Med.* 2000. V. 71. № 7. P. 723–729.
14. Николаев В.П. Теоретический анализ причин длительной задержки проявления декомпрессионной болезни у водолазов // *Авиакосм. и экол. мед.* 2011. Т. 45. № 2. С. 45–50.  
Nikolaev V.P. Theoretical analysis of causes for prolonged delay of decompression sickness onset in divers // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya medicine.* 2011. V. 45. № 2. P. 45–50.
15. Nikolaev V.P. Simulation of gas bubble growth and dissolution in body tissues during dives and recompression // *Aviat. Space Environ. Med.* 2013. V. 84. № 9. P. 938–945.
16. Van Liew H.D., Conkin J., Burkard M. Probabilistic model of altitude decompression sickness based on mechanistic premises // *J. Appl. Physiol.* 1994. V. 76. P. 2726–2734.
17. Gernhardt M.L. Development and evaluation of a decompression stress index based on tissue bubble dynamics: Diss. Ph. D. University of Pennsylvania, 1991.
18. Srinivansan R.S., Gerth W.A., Powell M.R. Mathematical model of diffusion-limited gas bubble dynamics in unstirred tissue with finite volume // *Ann. Biomed. Eng.* 2002, V. 30. P. 232–246.
19. Hills B.A. Relevant phase conditions for predicting occurrence of decompression sickness // *J. Appl. Physiol.* 1968. V. 25. P. 310–315.
20. Clark J.M., Lambertsen C.J. Pulmonary oxygen toxicity: a review // *Pharm. Rev.* 1971. V. 23. P. 37–133.
21. Clark J.M. Oxygen toxicity // *The physiology and medicine of diving* / P.B. Bennett, D.H. Elliott, eds. Sun Pedro, 1982. P. 200–238.
22. Николаев В.П. Анализ эволюции размера декомпрессионных газовых пузырьков в тканях водолазов при режимах лечебной рекомпрессии // *Авиакосм. и экол. мед.* 2013. Т. 47. № 2. С. 41–46.  
Nikolaev V.P. Analysis of evolution of the size of decompression gas bubbles in diver tissues during schedules of medical recompression // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2013. V. 47. № 2. P. 41–46.
23. Николаев В.П., Соколов Г.М., Комаревцев В.Н. Теоретический анализ режимов лечения

декомпрессионной болезни методом рекомпрессии // Там же. 2011. Т. 45. № 4. С. 47–54.

*Nikolaev V.P., Sokolov G.M., Komarevtsev V.N.* Theoretical analysis of schedules for treatment of decompression sickness by recompression methods // *Ibid.* 2011. V. 45. № 4. P. 47–54.

24. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н., Демчишин М.Д. Глубоководные водолазные спуски и их медицинское обеспечение. М., 2005.

*Smolin V.V., Sokolov G.M., Pavlov B.N., Demchishin M.D.* Deep-sea diving and its medical support. Moscow, 2005.

25. Митрохин А.А., Родионов Е.П., Семенцов В.Н., Воднева М.М. Водолазная медицина в ГKB имени Боткина: итоги первых 5 лет // Баротерапия в комплексном лечении и реабилитации раненых, больных и пораженных: IX-я Всеармейская науч.-практ. конф. с междунар. участием (28–29 мая 2015 г.) / А.А. Мясников, ред. СПб., 2015. С. 62–63.

*Mitrohin A.A., Rodionov E.P., Sementsov V.N., Vodneva M.M.* The diving medicine at the Botkin GKB: results of the first 5 years // Barotherapy in treatment and rehabilitation of the wounded, sick and affected: IXth All-army scientific practical conference with international participation (28–29 May 2015) / A.A. Myasnikov, ed. St. Petersburg, 2015. P. 62–63.

26. Royal Navy, Ministry of Defense. Diving Manual. London, 1972.

27. Groupe d'Etudes et Recherches Sousmarines. Guide for diving with air: Part II. Genesis, signs and treatment for the accidents of diving. Toulon, 1968.

Поступила 15.02.2017

## **THEORETICAL JUSTIFICATION OF EFFICIENCY OF AIR RECOMPRESSION TREATMENT SCHEDULE USING THE INITIAL PRESSURE OF 4 ATA**

**Nikolaev V.P., Sokolov G.M.**

*Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).* 2017. V. 51. № 4. P. 45–51

*The theoretical justification of the effective action of Air Recompression Treatment Schedule using the initial pressure of 4 ata, exposure at this pressure during 1 hour and subsequent decompression to the ground level in the course of 5 days for the treatment of the patients subjected to the decompression sickness (DCS) onset is presented. The action of this schedule ensures the dissolution of the gas bubbles in the body tissues with a larger size than the commonly used therapeutic recompression schedules. At the same time, the patients receive a higher dose of therapeutic oxygenation, being completely protected from the threat of nitrogen narcosis and the toxic effect of oxygen in the lungs. Decompression completing this treatment schedule does not cause the supersaturation of slow tissues with nitrogen, which eliminates the possibility of new gas bubble formation in them and the appearance of new DCS symptoms.*

Key words: decompression, decompression sickness, therapeutic recompression schedules, mathematical modeling.

УДК 579.65+632.953.1+ 678.026.3

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ ПЛАНЕТАРНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МИССИИ «ЭКЗОМАРС-2016»

Дешева Е.А.<sup>1</sup>, Хамидуллина Н.М.<sup>2</sup>, Гуридов А.А.<sup>1</sup>, Захаренко Д.В.<sup>2</sup>, Новикова Н.Д.<sup>1</sup>,  
Фиалкина С.В.<sup>1</sup>, Орлов О.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина, г. Химки, Московская обл.

E-mail: Deshevaya@imbp.ru

*Проведение микробиологических исследований на начальных этапах подготовки сооружений технологического комплекса (ТК) Байконур к пусковой кампании космического аппарата «ЭкзоМарс-2016» позволило своевременно определить существующую бионагрузку поверхностей и биоаэрозоля чистых помещений и тем самым выработать план мероприятий, позволяющих снизить микробную нагрузку поверхностей до заданных уровней. Реализация рекомендованных мер полностью обеспечила выполнение требований планетарной защиты миссии «ЭкзоМарс-2016».*

Ключевые слова: микроорганизмы, бионагрузка, технологический комплекс, космодром, обеззараживание.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 4. С. 52–58.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-52-58

Составными частями космического аппарата (КА) «ЭкзоМарс-2016» являются орбитальный аппарат и демонстрационный десантный модуль (ДДМ), который должен осуществить посадку на планету Марс, при этом не предполагается проведение экспериментов по поиску жизни. В связи с этим миссия «ЭкзоМарс-2016» в соответствии с классификацией КОСПАР относится к категории IVa и к ней предъявляются определенные обязательные для всех участников проекта требования по планетарной защите Марса от возможного загрязнения его среды земными микроорганизмами [1].

Категория IVa характеризуется следующими требованиями:

– плотность поверхностного микробиологического загрязнения посадочного модуля перед пуском не должна превышать 300 бактериальных спор/м<sup>2</sup>;

– общее поверхностное микробиологическое загрязнение посадочного модуля не должно превышать  $3 \times 10^5$  бактериальных спор перед пуском;

– общее количество спор (поверхностное и объемное), которое допускается на десантный модуль перед запуском, не должно превышать  $5 \times 10^5$  бактериальных спор.

Космический аппарат «ЭкзоМарс-2016» разрабатывался Европейским космическим агентством (ЕКА). В связи с этим выполнение требований планетарной защиты в части готовности КА к летным испытаниям являлось зоной ответственности ЕКА.

Поскольку пуск КА «ЭкзоМарс-2016» осуществлялся с космодрома Байконур с помощью российского ракетного комплекса «Протон-М/Бриз-М», то на российской стороне лежала ответственность за предотвращение переагрязнения КА в процессе подготовки к старту.

Согласно требованиям ЕКА, работы с КА (заключительная сборка) проходили в помещении класса 7 ISO, контролируемом по микробиологическому загрязнению (чистовая палатка с ламинарным потоком), находящемся под полной ответственностью ЕКА. В свою очередь, оно располагалось в чистом помещении класса 8 ISO на технологическом комплексе (ТК) «Байконур», которое должно было контролироваться не только с точки зрения промышленной чистоты, но также и в части ограничения биологического загрязнения для нормального функционирования чистой палатки и, прежде всего, ее фильтров, обеспечивающих чистоту внутри. Средняя плотность бионагрузки поверхностей чистых помещений класса 8 ISO на ТК «Байконур» (помещений 101, 103 и 103А), в которых должны были проводиться работы в КА в период заключительной сборки, не должна была превышать 1000 бактериальных спор/м<sup>2</sup>.

Для этих помещений ограничивалось также общее загрязнение колониеобразующими единицами (КОЕ) микроорганизмов. Их плотность не должна была превышать следующих значений:

– в воздухе – не более 100 КОЕ/м<sup>3</sup>;

– на поверхностях – не более 10000 КОЕ/м<sup>2</sup>.

Первичные верификационные микробиологические исследования, проведенные специалистами ЕКА в марте 2013 г., выявили только состав бактериального и грибного компонентов воздуха и поверхностей, без уточнения их численности.

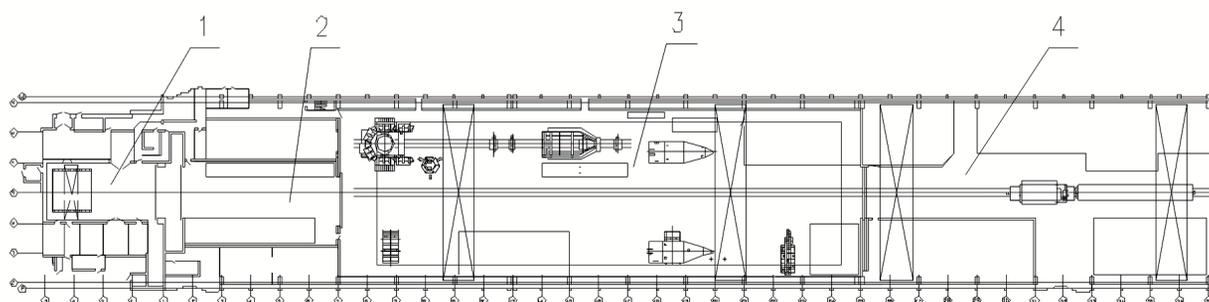


Рисунок. План помещений сборки КА на ТК «Байконур».

1 – зал 103А – чистое помещение класса 8 ИСО, зал подготовки и заправки КА; 2 – зал 103 – чистое помещение класса 8 ИСО, зал приема и предварительной очистки; 3 – зал 101 – чистое помещение класса 8 ИСО, зал сборки космической головной части; 4 – зал 102 – помещение, в котором требования по чистоте не предъявляются

С марта 2015 г. российскими специалистами были начаты микробиологические исследования, позволившие:

- определить уровни микробной загрязненности воздуха и поверхностей чистых помещений ТК «Байконур»;
- выработать предложения по снижению численности микроорганизмов;
- провести пробный эксперимент, определивший возможности разработанных мероприятий;
- сделать заключение о готовности помещений 101, 103 и 103А ТК «Байконур» к пусковой кампании в части выполнения российской стороной требований по планетарной защите миссии «ЭкзоМарс-2016».

#### Методика

Заключительные работы с КА «ЭкзоМарс-2016» (сборка, заправка) проходили в чистых помещениях 101, 103 и 103А космодрома Байконур.

План этажа сооружения на ТК, в котором расположены чистые помещения, представлен на рисунке.

Площадь самого большого чистого помещения (зал 101) составляет 3602,8 м<sup>2</sup>, а площадь наименьшего (зал 103А) – 265,5 м<sup>2</sup>. Вышеуказанные требования по уровню микробной нагрузки воздуха и поверхностей должны были выполняться постоянно в период пусковой кампании во всех чистых помещениях ТК «Байконур», причем в процессе проведения всех работ с КА.

Отбор проб воздуха производился с помощью воздушного пробоотборника SAS фирмы PBI аспирационно-седиментационным методом на чашки SAS с питательной средой R2A. Объем отбираемой пробы воздуха составлял 500 л. В лаборатории чашки SAS с пробами помещали в термостат (32 °С) для инкубирования в течение 3–5 сут. После инкубирования производили учет выросших на чашках колоний и рассчитывали содержание бактерий и

грибов в 1 м<sup>3</sup> воздуха. Затем проводили выделение и идентификацию микроорганизмов. На основании полученных данных анализировали загрязненность воздуха и определяли уровни тревоги.

На поверхностях чистых помещений ТК «Байконур» первоначально определяли общее содержание микроорганизмов по предложенной специалистами ЕКА методике [2]. Смывы с поверхностей проводили с использованием стерильных салфеток ТХ3211 (коэффициент потери 0,2), подготовленных для отбора проб с поверхностей в лаборатории. После отбора проб в чистых помещениях салфетки помещали в стерильные колбы, которые размещали в сумке-холодильнике. В лаборатории в ламинарном шкафу в колбы с салфетками (содержащие смыв с поверхностей) наливали по 200 мл промывочного раствора. В течение 15–20 с колбы сильно трясли, а затем помещали их на 2 мин в ультразвуковую ванну и еще раз сильно трясли. Посев проводили в ламинарном шкафу: по 4 мл инокулята помещали в 30 стерильных чашек Петри, в которые затем наливали по 20 мл стерильной расплавленной питательной среды R2A.

Термостатировали в течение 3–5 сут при 32 °С и затем подсчитывали содержание бактерий и грибов. На основании анализа полученных результатов судили о микробной загрязненности исследуемых поверхностей и определяли уровни тревоги, исходя из требования: общее число микроорганизмов не должно было превышать 10 000 КОЕ/м<sup>2</sup>. Кроме этого, проводили посев по 0,5 мл инокулята на поверхность питательной среды для выделения бактерий и грибов, которые являлись тестовыми культурами для выбора дезинфицирующих средств и проведения других микробиологических исследований. Банк штаммов бактерий и грибов, характерных для чистых помещений сооружения ТК, формировали из микроорганизмов, выросших в каждой точке отбора проб.

Поскольку основным требованием планетарной защиты являлось ограничение плотности

спорообразующих бактерий (не более 1000 спор/м<sup>2</sup>) на поверхностях помещений, контроль эффективности средств обеззараживания проводился определением только их содержания.

Смывы с поверхностей проводили с использованием стерильных салфеток ТХ3211, подготовленных для отбора проб с поверхностей [2]. После отбора проб в чистых помещениях салфетки помещали обратно в пробирки Falcon, которые размещали в сумке-холодильнике. В лаборатории в ламинарном шкафу салфетки переносили в колбы, содержащие 200 мл промывочного раствора. В течение 15–20 с сильно трясли колбы, а затем помещали их на 2 мин в ультразвуковую ванну и еще раз сильно трясли. Затем помещали в водяную баню (80 ± 2 °С) на 15 мин, далее быстро охлаждали до 30–35 °С и фильтровали все содержимое колбы через стерильный фильтр, который помещали на поверхность питательной среды R2A. Термостатировали в течение 3 сут при 32 °С и подсчитывали содержание спорообразующих бактерий, численность которых является нормативным показателем и не должна превышать 1000 спор/м<sup>2</sup>.

На основании полученных результатов оценивали эффективность проведенных мероприятий по обеззараживанию воздуха и поверхностей и определяли готовность помещений сооружения ТК «Байконур» к началу пусковой компании миссии «Экзомарс-2016».

### Результаты и обсуждение

Первичные микробиологические исследования, проведенные в марте 2015 г., показали значительные колебания уровней микробной загрязненности воздуха и поверхностей в помещениях 103А и 101. В табл. 1 представлены результаты проведенных исследований.

Данные, представленные в табл. 1, показывают, что содержание микробного компонента аэрозоля не превышало допустимых значений. Однако в его составе обнаруживали споры плесневых грибов, которых не должно быть. Наличие спор грибов в воздухе чистых помещений обычно связано с неэффективностью уборки помещений или загрязненностью фильтров и воздухопроводов.

Значения уровней плотности микробной нагрузки большинства исследованных поверхностей существенно превышали допустимые нормативы (максимальная численность микроорганизмов составляла 1,58 × 10<sup>7</sup> КОЕ/м<sup>2</sup>). Доминирующими родами микроорганизмов, обсеменяющих поверхности помещений, были бактерии рода *Bacillus* и грибы рода *Penicillium*.

Таким образом, проведенные первичные исследования выявили необходимость проведения регулярных уборок в чистых помещениях, к которым предъявляются требования по микробной чистоте,

с использованием дезинфицирующих средств. При невозможности проведения генеральной уборки перед началом сборочных работ с КА в качестве альтернативы использовали дополнительные средства по обеззараживанию поверхностей и воздуха, а именно применение импульсных ультрафиолетовых установок, предварительно подтвердив их высокую эффективность.

Окончательно в перечень рекомендаций по основным мероприятиям на ТК, реализация которых позволила выполнить требования планетарной защиты, вошли:

- обеззараживание поверхностей чистых помещений специальным дезинфектантом;
- использование ксеноновых импульсных УФ-установок для обеззараживания поверхностей и воздуха чистых помещений как альтернатива замене фильтров, очистке воздухопроводов и проведению генеральной уборки, которая при колоссальных размерах помещений привела бы к остановке работ в данном сооружении на ТК.

На основании анализа Инструкций по применению дезинфекционных средств, их активности к спорообразующим бактериям и грибам, величины рН и других свойств, а также по результатам проведенных экспериментальных исследований эффективности их действия на штаммы микроорганизмов, выделенных с поверхностей чистых помещений, был выбран дезинфектант «Экор» (АО НПП «Новодез»), который был рекомендован для проведения уборок залов 101, 103 и 103А и очистки технологического оборудования сооружений ТК «Байконур».

В связи с тем что для эффективности применения дезинфекционных средств всегда рекомендуется 2-кратное протирание поверхностей, а в условиях залов ТК «Байконур», имеющих большие площади, этот метод обеззараживания невозможен, было принято решение о проведении эксперимента в реальных условиях рабочей эксплуатации ТК, цель которого состояла в определении эффективности рекомендованных и проведенных мероприятий по обеззараживанию воздуха и поверхностей.

Этот эксперимент проводился до начала работ с КА на ТК в одном из чистых помещений (зал 101). В ноябре 2015 г. был проведен отбор проб воздуха и поверхностей в этом помещении сначала только после однократного воздействия импульсного УФ-излучения, а затем и после суммарного действия уборки помещения с дезинфекционным средством «Экор» и импульсного УФ-излучения (естественно, в рассчитанном для данного помещения режиме). Облучение проводилось в отсутствие персонала в течение 30 мин 4 УФ-установками УИК6-01-«Альфа» согласно разработанной совместно с разработчиком установок Инструкции о порядке проведения обеззараживания чистых помещений на космодроме Байконур с использованием ультрафиолетовых

Таблица 1

**Характеристика проб воздуха и поверхностей, отобранных в марте 2015 г.**

№ зала	Пробы воздуха			Пробы поверхностей		
	Количество отобранных проб	Колебание уровня микробной нагрузки КОЕ/м <sup>3</sup>	Количество проб с превышением уровня микробной нагрузки	Количество отобранных проб	Колебание уровня микробной нагрузки КОЕ/м <sup>2</sup>	Количество проб с превышением уровня микробной нагрузки
103А	8	2–6	0	15	1,68 x 10 <sup>2</sup> – 1,58 x 10 <sup>7</sup>	8
101	18	2–72	0	4	8,8 x 10 <sup>1</sup> – 6,75 x 10 <sup>6</sup>	3

Таблица 2

**Результаты оценки эффективности мероприятий по обеззараживанию поверхностей**

Характеристика проведенных мероприятий	Количество отобранных проб	Количество проб с превышением уровня микробной нагрузки	Содержание спорообразующих бактерий в пробах, %
До начала проведения мероприятий по обеззараживанию (контроль)	15	8	33
После однократного воздействия импульсного УФ-излучения	15	3	20
После 2-кратной уборки дезсредством «Экор» и однократного импульсного УФ-излучения	16	0	0

Таблица 3

**Результаты оценки бионагрузки поверхностей и оборудования перед началом пусковой кампании и через 1 мес работы специалистов ЕКА на ТК**

Время отбора проб	№ зала	Количество отобранных проб	Уровни микробной нагрузки, КОЕ/м <sup>2</sup>	Количество проб с превышением уровня содержания спорообразующих бактерий
Перед началом пусковой кампании (декабрь 2015 г.)	101	16	0–936	0
	103	15	0–988	0
	103А	15	0–988	0
Через 1 мес после начала пусковой кампании (январь 2016 г.)	101	12	0	0
	103	14	0–102	0
	103А	15	0–2548	2

установок УИКБ-01-«Альфа». Установки работали в первом случае в обеденный перерыв, а во второй раз после проведения уборки с дезинфектантом до начала рабочей смены.

Для дезинфекционной обработки помещения (пол и стены на высоту 2 м) было использовано отобранное и рекомендованное средство «Экор».

Дезинфекционная обработка проводилась однократно в течение 2 сут в рабочее время по разработанной и согласованной с поставщиками пусковых услуг методике.

Отбор микробиологических проб проводили 3-кратно. Первый забор проб осуществляли до реализации процедур по обеззараживанию воздуха и

поверхностей, второй – через 30 мин после работы импульсных УФ-установок, третий – после 2-кратной дезинфекционной обработки поверхностей помещения средством «Экор» и однократного действия импульсных УФ-установок. Все измерения производились в помещении, в котором велись работы.

При проведении исследований были отобраны 44 пробы с поверхностей и 40 проб воздуха в помещении 101. В табл. 2 представлены данные об эффективности проведенных мероприятий.

При отборе первичных микробиологических проб (до начала проведения уборочно-обеззараживающих мероприятий помещения 101 ТК) в 8 зонах из 15 исследованных опередили превышение нормативного показателя по микробной нагрузке поверхностей, которая не должна превышать 10 000 КОЕ/м<sup>2</sup>. Спорообразующие бактерии при этом составляли 33 % от общего числа микроорганизмов на всех исследованных поверхностях. Жизнеспособные единицы грибов обнаружили в 3 зонах.

После отбора первичных микробиологических проб было проведено однократное обеззараживание помещения импульсной установкой УФ-излучения, а затем через 30–40 мин снова проводился отбор проб для определения эффективности обеззараживания с помощью данного физического метода.

Полученные данные показывают, что численность микроорганизмов после воздействия УФ-излучения на всех поверхностях значительно уменьшилась. Однако она еще оставалась достаточно высокой (выше допустимой микробной нагрузки) на поверхностях 3 зон: около ворот в зал 102 (см. рис. 1), в месте расположения технического оборудования (также около входа в зал 102) и на полу около предполагаемого места расположения чистой палатки ЕКА. Этот факт объясняется тем, что в этих зонах проводились активные действия по доставке на неочищенной платформе оборудования из помещения 102 и его разгрузке. В местах действия прямых лучей установки (не закрытых оборудованием) эффективность обеззараживания доходила до 99 %. Содержание спорообразующих бактерий на поверхности помещения снизилось до 20 % от общей численности выделенных микроорганизмов. Единичные жизнеспособные фрагменты грибов были выявлены только в 2 местах.

Третья серия отборов микробиологических проб осуществлялась после проведенных накануне 2-кратных (в течение 2 сут) дезинфекционных уборок помещения средством «Экор» и последующего действия импульсных УФ-установок (утром до начала смены). Содержание микроорганизмов во всех отобранных пробах не превышало заданных нормативных показателей. Максимальная численность бактерий 9450 КОЕ/м<sup>2</sup> была обнаружена только в одном месте – на полу около предполагаемого расположения чистой палатки. Кроме этого, был

достигнут важнейший показатель: во всех пробах, отобранных в этот период, не были обнаружены спорообразующие бактерии.

Таким образом, действие только импульсной установки УФ-излучения снижало содержание микроорганизмов на поверхностях. При прямом воздействии УФ-излучения содержание микробов в исследуемых местах снижалось до единичных значений, несмотря на то что расстояние до обрабатываемой поверхности могло достигать 17–18 м. Содержание спорообразующих микроорганизмов снизилось с 33 до 20 %.

Суммарное действие однократной дезинфекционной обработки в течение предыдущих 2 сут и импульсного УФ-излучения эффективно снижало уровень микробной нагрузки на всех поверхностях до регламентируемого нормативными документами уровня. При таком методе обеззараживания поверхностей вообще не было выявлено спорообразующих бактерий.

Общая численность микроорганизмов в воздухе помещения 101 не превышала нормативного показателя в течение всего периода исследований. Однако в составе воздушного аэрозоля было выявлено наличие единичных спор грибов.

Таким образом, в результате проведенных микробиологических исследований было показано, что эффективность обеззараживания поверхностей импульсным УФ-излучением с помощью установок УИКБ-01-«Альфа» может составлять 99 % для открытых поверхностей. Обеззараживание воздуха УФ-излучением также приводило к снижению содержания микроорганизмов в воздухе. Совместное действие однократной дезинфекционной обработки в течение не менее 2 сут и УФ-излучения еще эффективнее снижало уровень микробной нагрузки поверхностей до нормативного значения и полностью подавляло жизнеспособность спорообразующих бактерий.

На основании проведенных исследований для подготовки к началу пусковой кампании было рекомендовано:

- перед началом работ с КА «ЭкзоМарс-2016» провести обеззараживание всех чистых помещений с помощью воздействия импульсного УФ-излучения установок УИКБ-01-«Альфа»;
- обеспечить проведение ежедневной дезинфекционной обработки поверхностей помещений и оборудования средством «Экор» по разработанной инструкции.

Оценка состояния микробиологической чистоты чистых помещений (при реализации рекомендованных и описанных выше мероприятий) осуществлялась перед началом пусковой кампании (декабрь 2015 г.) и через 1 мес работы по сборке КА на ТК «Байконур» (январь 2016 г.).

В табл. 3 представлены результаты микробиологических исследований бионагрузки поверхностей чистых помещений и оборудования.

Согласно полученным данным, перед началом пусковой кампании «ЭкзоМарс-2016» на всех исследованных поверхностях содержание спорных бактерий не превышало заданного норматива (1000 спор/м<sup>2</sup>). Однако в каждом зале были отмечены зоны, в которых численность спорообразующих бактерий была критической (в частности, 988 спор/м<sup>2</sup>), а именно:

- в помещении 101 – поверхность воздуховода вблизи от входа в помещение;
- в помещении 103А – поверхность пола в одном из углов;
- в помещении 103 – поверхность пола около выхода из зала, поверхность подъемных ворот и горизонтальная поверхность 1 щитка.

Зоны с критическим уровнем бионагрузки спорных бактерий в помещениях 101 и 103А не относятся к местам контакта с людьми или к местам, в которых проводили работы с КА. Следовательно, данные зоны требовали в дальнейшем более тщательной повторной уборки. Более того, в помещении 103 в период отбора проб проводились интенсивные работы по разгрузке контейнеров ЕКА с оборудованием и аппаратурой миссии «ЭкзоМарс-2016». Вероятно, именно поэтому уровень микробной нагрузки был достаточно высоким на многих поверхностях. После окончания разгрузочных работ рекомендовалась тщательная обработка всех поверхностей этого помещения с использованием дезинфекционного средства и по возможности обеззараживание с использованием импульсных установок УФ-излучения. В дальнейшем рекомендовалось вносить в чистые помещения контейнеры с оборудованием только после протирания их поверхности дезинфекционным средством или этиловым спиртом.

Тем не менее, несмотря на интенсивные работы в данных помещениях без выполнения специальных мер по доступу людей и оборудования, результаты не превышали заданных нормативов по контаминации спорными формами.

Согласно полученным при исследованиях данным, в воздухе всех чистых помещений поддерживался высокий уровень микробиологической чистоты. Максимальная численность бактерий и грибов не превышала 32 КОЕ/м<sup>3</sup> (помещение 101). Показано, что даже в процессе разгрузочных работ в помещении 103 в воздухе максимальное содержание микроорганизмов не превышало 10 КОЕ/м<sup>3</sup> (при нормативе 100 КОЕ/м<sup>3</sup>).

Таким образом, полученные в декабре 2015 г. результаты микробиологических исследований позволили сделать заключение о готовности помещений 101, 103, 103А ТК «Байконур» к пусковой кампании в части выполнения требований по планетарной защите миссии «ЭкзоМарс-2016».

Контрольная оценка микробиологической чистоты помещений, в которых проводились работы

с КА в чистой палатке, была проведена в январе 2016 г.

К этому времени в чистых помещениях ТК осуществлялись следующие из рекомендованных дезинфекционных мероприятий:

- в помещении 101 проводилась ежедневная уборка с применением дезинфекционного средства «Экор»;
- в помещениях 103 и 103А обработка поверхностей дезинфектантом «Экор» с конца декабря не осуществлялась. В течение 2 сут до отбора проб была проведена однократная дезинфекционная обработка в этих помещениях.

Обеззараживание воздуха и поверхностей во всех чистых помещениях с помощью УФ-установок УИКБ-01-«Альфа» не проводили с начала работ по сборке КА. По причине недостаточной изученности влияния мощного импульсного УФ-излучения на радиоэлектронную бортовую аппаратуру (БА) было принято решение не использовать УФ-облучение в помещениях, где располагается распакованная БА.

В январе 2016 г. было отобрано 45 проб с поверхностей и 29 проб воздуха.

Согласно полученным данным, на всех поверхностях помещения 101 спорообразующих бактерий не обнаружено, несмотря на то что в данном помещении велись интенсивные работы как по сборке КА специалистами ЕКА, так и по сборке космической головной части российскими специалистами. Это позволяет сделать вывод, что микробиологическая чистота поверхностей является результатом ежедневной эффективной дезинфекционной обработки пола и поверхностей с использованием выбранного средства «Экор», а также предварительного (до прибытия в помещение КА) облучения УФ-установками.

– В помещении 103А на период отбора проб работы не проводились, и поэтому в этом помещении не осуществлялись регулярные дезинфекционные обработки поверхностей. Тем не менее численность спорообразующих бактерий на поверхностях не превышала нормативные показатели даже после однократной уборки с использованием дезинфектанта «Экор».

В помещении 103 было размещено оборудование ЕКА, и этот зал являлся наиболее часто посещаемым специалистами ЕКА без соблюдения каких-либо специальных процедур доступа. Регулярной дезинфекционной обработки поверхностей в нем не проводилось. В результате выявлены места, в которых численность спорообразующих бактерий превышала нормативные показатели (1000 спор/м<sup>2</sup>): пол в одном из углов (1144 спор/м<sup>2</sup>) и пол в центре зала (2548 спор/м<sup>2</sup>).

Следует отметить, что по результатам проведенных в декабре 2015 г. исследований в этом помещении (до начала работ по сборке КА специалистами ЕКА) не отмечалось превышения показателя

микробного загрязнения поверхностей, несмотря на то, что в декабре проводились работы по загрузке контейнеров в зал 103. До начала разгрузочных работ в этом зале проводилась 2-кратная дезинфекционная обработка и обеззараживание поверхностей импульсным УФ-излучением. Без дальнейшего проведения данных обеззараживающих мероприятий за период длительностью примерно в 1 мес численность спорообразующих бактерий на отдельных поверхностях в этом помещении возросла более чем в 2 раза.

Полученный результат показал необходимость регулярности проведения уборки с применением дезинфекционного средства «Экор». В противном случае накопление спорообразующих бактерий в помещении 103 могло увеличить микробиологическую загрязненность поверхностей во всех чистых помещениях, а в дальнейшем без проведения дезинфекционной обработки, численность спорных бактерий могла возрасти и в других залах. Специалисты ЕКА поддержали необходимость проведения регулярных уборок с использованием дезинфекционного средства «Экор» в помещениях сооружения ТК для обеспечения работы фильтров чистой палатки и тем самым поддержания микробиологической чистоты в ней до уровня не более 50 спор/м<sup>2</sup>.

Согласно полученным данным, в воздухе помещений постоянно поддерживался высокий уровень микробиологической чистоты. Максимальная численность микроорганизмов в исследуемых помещениях в январе 2016 г. не превышала 10 КОЕ/м<sup>3</sup>. В помещении 103А, где еще не проводились работы, в воздухе не было обнаружено микроорганизмов.

Таким образом, на основании полученных в январе 2016 г. результатов был подтвержден необходимый уровень микробиологической чистоты воздуха и поверхностей помещений ТК «Байконур» в период пусковой кампании и тем самым еще раз проверена эффективность проведенных мероприятий по обеззараживанию.

#### Выводы

1. Первичный микробиологический мониторинг чистых помещений ТК «Байконур», к которым предъявляются требования по микробиологической чистоте воздуха и поверхностей, выявил необходимость проведения эффективных мер по снижению уровня бионагрузки, в первую очередь содержания спорообразующих бактерий.

2. В результате проведенного анализа существующих средств и установок для обеззараживания с учетом специфики работ на космодроме были выбраны и рекомендованы следующие меры:

– облучение помещений импульсными ксеноновыми УФ-установками;

– проведение регулярных ежедневных уборок с использованием дезинфектанта «Экор».

3. Микробиологические исследования бионагрузки воздуха, поверхностей и оборудования ТК «Байконур» подтвердили высокую эффективность совместного воздействия импульсных установок УФ-излучения и ежедневных уборок с использованием дезинфекционного средства «Экор».

4. Результаты микробиологических исследований после применения рекомендованных мероприятий по обеззараживанию воздуха и поверхностей продемонстрировали готовность чистых помещений ТК «Байконур» к пусковой кампании в части выполнения российской стороной требований по планетарной защите миссии «ЭкзоМарс-2016», а также подтвердили их эффективность в период пусковой кампании до старта КА.

*Работа выполнена в рамках контракта № 15-12-860.*

#### Список литературы

1. COSPAR planetary protection policy. (20 October 2002. As Amended to 24 March 2011). Approved by the Bureau and Council, World Space Council. Houston, Texas, USA. 2011.

2. ECSS-Q-ST-70-58C. Обеспечение качества космической продукции. Микробный контроль полетного аппаратного обеспечения и чистоты помещений. 2008.

ECSS-Q-ST-70-58C. Space product assurance. Microbial examination of flight hardware and clean rooms. 2008.

Поступила 13.07.2016

### EXECUTION OF THE PLANETARY PROTECTION PROGRAM WITHIN THE SCOPE OF «EXOMARS-2016» MISSION

**Deshevaya E.A., Khamidullina N.M.,  
Guridov A.A., Zakharenko D.V., Novikova N.D.,  
Fialkina S.V., Orlov O.I.**

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 4. P. 52–58

*Microbiological measurements made at the very beginning of preparation of the Baikonur facilities for the «ExoMars-2016» launch campaign revealed severe contamination of surfaces and bio-aerosol in clean rooms and called for a plan of microbial content reduction to admissible levels. Execution of the recommended actions resulted in full compliance with the planetary protection requirements to the «ExoMars-2016» mission.*

Key words: microorganisms, bio-contamination, technological complex, launch site, decontamination.

УДК 612629.78.007

## ЭТИКА ПРОВЕДЕНИЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ

Смирнова Т.А., Ильин Е.А.

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

E-mail: smirnova@imbp.ru

*В статье рассматриваются этические подходы к биомедицинским исследованиям и испытаниям на человеке, проводимым с целью расширения сферы безопасной и эффективной деятельности человека в экстремальных условиях внешней среды. Излагаются основные положения международных и национальных документов, регламентирующих биоэтические правила проведения биомедицинских исследований на человеке. Обсуждаются вопросы приемлемости или допустимости этих исследований по комплексным программам с использованием разнообразных методов исследования.*

Ключевые слова: биомедицинские исследования, экстремальные условия, биоэтические правила, приемлемый риск.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 3. С. 59–68.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-59-68

Биомедицинские исследования и испытания на человеке, проводимые для расширения сферы безопасной и эффективной деятельности человека в обычных и экстремальных – природных и техногенных – условиях внешней среды, требуют этического контроля за их выполнением. Несмотря на значительный риск, с которым связана деятельность человека в экстремальных условиях, вовлеченными в эту деятельность оказываются большие группы людей. Для многих она становится профессией, для других – спортом или развлечением, для третьих – образом жизни. Это относится к различным видам государственной службы (полиция, армия, спасатели, пожарные), опасным или вредным производствам, спорту, транспорту и т.д., особенно к авиации, космонавтике, подводным работам. Применительно к этим видам деятельности более всего требуется разработка средств и методов защиты человека от агрессивной внешней среды, что, в свою очередь, влечет за собой необходимость проведения исследований и испытаний на человеке [1].

Проведение этих исследований и испытаний необходимо с целью [2]:

– раскрытия механизмов действия на человека экстремальных физических, химических, биологических и психологических факторов, а также

разработки методов и средств повышения устойчивости человека к этим факторам;

– нормирования параметров искусственной среды обитания применительно к жизни и деятельности человека в объектах новой техники;

– определения психофизиологических возможностей человека к выполнению своих профессиональных задач и в разработке методов и средств расширения этих возможностей;

– испытания эргономических систем индикации, сигнализации и управления новыми видами техники;

– испытания систем жизнеобеспечения и предметов бытового оборудования обитаемых объектов, частично или полностью изолированных от внешней среды;

– апробации средств аварийного спасения, средств и методов индивидуальной и коллективной защиты.

Значимость становления и развития этических отношений в ходе биомедицинских исследований, используя терминологию великого немецкого философа Иммануила Канта, определяется различиями между 2 классами суждения: «суждениями о сущем и суждениями о должном». Этика является мерой и критерием разрешения конфликта интересов, возникающих в процессе прогресса биомедицинской науки, а этическая экспертиза, наряду с наукой, становится неотрывной и составной частью биомедицинского исследования [3].

Ранее деление биомедицинских исследований осуществлялось по признаку основного субъекта исследования и имело следующие категории:

– исследования врачей на себе;

– экспериментальные исследования на здоровых людях;

– клинические исследования больных.

Высокая нравственная основа проведения врачами экспериментов на себе послужила формированию такого символа героической самоотверженности, как «горящая свеча», олицетворяющего девиз медицинской профессии. «Светя другим, сгораю» – эти слова известный голландский медик Ван Тьюльп предложил сделать девизом врачей, а горящую свечу – их гербом.

История медицины знает много примеров героизма в служении науке, самоотверженности и скромности. Часто подобные эксперименты на себе заканчивались гибелью врачей, и эти случаи вошли в летопись «трагической или драматической медицины» как часть мировой истории медицины. Обо всем этом блестяще и подробно описал в своей книге австрийский историк медицины и популяризатор профессор Гуго Глязер – почетный доктор Первого Московского медицинского института им. И.М. Сеченова и почетный член Всесоюзного историко-медицинского общества [4]. Тема героизма и самоотверженности врачей ему особенно была близка, так как он еще в молодые годы, являясь сотрудником лаборатории знаменитого бактериолога и биохимика Пауля Эрлиха, принимал участие в поиске средств борьбы с заразными болезнями. Известны эксперименты врачей и биологов на себе, связанные с заражением такими инфекционными болезнями, как холера, чума, сифилис, туберкулез, проказа, тиф, желтая лихорадка и др. В историю медицины вошли такие имена, как *Петтенкофер* – для доказательства своих теоретических положений выпил культуру холерного вибриона, *Форсман* – для диагностических приемов через вену ввел катетер в полость своего сердца; *Бюлар*, а затем *Клот*, доказавшие, экспериментируя с бациллами чумы на себе, что не каждый заболел, даже когда свирепствовала тяжелая эпидемия. Прodelывали на себе эксперименты с воздействием холерных бацилл и некоторые русские врачи-исследователи. Это сделал в Париже последователь Пастера *И.И. Мечников* и вслед за ним *Н.Ф. Гамалея*, *Д.К. Заболотный*, *И.Г. Савченко*, *В. Хавкин*. Эти эксперименты явились вкладом в проблему бациллоносителей, имеющую значение не только для холеры, но и для других инфекционных заболеваний.

Имена подвижников медицинской науки вызывают чувство глубокого уважения и восхищения, их дела послужили целям научного познания, спасению жизней и достижению общего блага для человечества.

Известно, что в мире не существует правовых норм, запрещающих или ограничивающих право человека подвергать себя риску в любом виде деятельности, если при этом не наносится ущерб природе или другим лицам и коллективам. Однако право индивидуума подвергать риску себя – свою жизнь, здоровье, профессиональную пригодность – предполагает высокую ответственность общества [2].

Противоположные ассоциации вызывают бесчеловечные эксперименты на людях, достигшие массового, ужасающего размаха в концентрационных лагерях смерти во время Второй мировой войны, санкционированные государственным действующим правом нацистского режима. Исполнителями, а порой и инициаторами этих преступных действий

нередко были врачи-исследователи, подвергавшие «подопытных» людей против их воли механическим, термическим, электрическим, психологическим воздействиям, лишению воды и пищи. Сохранение людей либо их гибель являлись одним из основных критериев оценки успешного исследования или испытания.

В ходе Нюрнбергского процесса над нацистами в 1947 г. были оглашены свидетельства об экспериментах, проводившихся над заключенными концлагерей нацистскими учеными и врачами-преступниками. Особо жестокий, бесчеловечный характер экспериментов заключался в том, что в них фактически планировалась смерть испытуемых. Заключенные, согласно актам процесса, подвергались жестоким экспериментам с целью проверки на них действия лекарств, газа, ядов; многие из этих экспериментов приводили к смерти в мучительных страданиях. Смертельные эксперименты проводились и в барокамерах для изучения воздействия пребывания человека на большой высоте. Различные исследования проводились над заключенными, раздетыми или одетыми, при искусственно созданных низких температурах для изучения процессов замерзания. На живых людях экспериментально изучались ипритовые ожоги, проводились резекции костей, мышц, нервов, осуществлялись инъекции вакцин, предполагаемых антираковых сывороток, гормонов и т.п. Все это мотивировалось высшими научными целями, за которыми скрывались лишь соображения государственной пользы [5].

На Нюрнбергском процессе эти исследования или испытания были квалифицированы как преступление против человечества, некоторые их исполнители были осуждены. Обвинителей и судей, участвующих в процессе, повергла в шок та планомерная и хладнокровная жестокость, с которой врачи-ученые проводили медицинские эксперименты на людях. В распоряжение суда были представлены результаты экспериментов, собранные и обобщенные с подлинно немецкой педантичностью.

По следам преступлений, совершенных нацистскими врачами, в том числе и при проведении опытов над людьми при попрании самых элементарных норм уважения достоинства человеческой личности, в 1947 г. был выработан документ, который должен был провести четкие границы в области экспериментирования над людьми – Нюрнбергский кодекс [6]. Этот документ стал своеобразной точкой отсчета при создании биоэтических нормативов, первым международным документом, регламентирующим проведение медицинских экспериментов на человеке. Хотя кодекс был принят в форме судебного решения, он имеет не столько юридическую, сколько этическую сторону.

Во всем мире законодательство и политика в области биомедицинских исследований на людях

базируются на 10 принципах, провозглашенных в Нюрнбергском кодексе, в которых излагаются базовые основы допустимости или приемлемости проведения биомедицинских экспериментов:

1. Необходимость добровольного согласия участвующего в испытании человека. Вовлеченный в эксперимент субъект должен иметь возможность свободного волеизъявления, без какого бы то ни было воздействия на него, до принятия утвердительного решения должен быть проинформирован о природе, продолжительности и целях эксперимента, средствах и методах, которыми он будет проводиться, а также обо всех связанных с ним неудобствах, опасностях и вероятных последствиях для его здоровья, которые могут повлечь за собой участие в испытании.

2. Эксперимент должен быть нацелен на получение результатов во благо общества, которые нельзя достичь иными методами или способами исследования.

3. Эксперимент должен планироваться на основе результатов, полученных в ходе исследований на животных, а также на основе знаний о природе заболевания или других исследуемых проблемах. Ожидаемые результаты должны оправдывать проведение эксперимента.

4. Эксперимент должен проводиться таким образом, чтобы избежать причинения субъекту исследования повреждений, физических и психических страданий.

5. Ни один эксперимент не должен проводиться в том случае, если уже *a priori* есть основания полагать, что он приведет к смерти или инвалидности, за исключением тех экспериментов, которые исследователи проводят на самих себе.

6. Степень риска должна быть оправдана гуманитарной важностью проблемы, которая решается в ходе данного эксперимента.

7. С целью исключения даже самого незначительного риска инвалидности или смерти должны быть сделаны все необходимые приготовления и обеспечено наличие адекватного оборудования.

8. Эксперимент должен проводиться только квалифицированным персоналом. От всех лиц, руководящих экспериментом либо вовлеченных в него, требуется высшая степень профессионального мастерства и добросовестность в выполнении своих обязанностей.

9. В ходе эксперимента субъект исследования может покинуть его, если он достиг того физического или психического состояния, при котором продолжение участия в исследовании представляется ему невозможным.

10. В ходе эксперимента главный исследователь должен быть готов прервать его на любой стадии, если в силу требующихся от него принципиальности, профессионализма и добросовестности

у него появятся основания полагать, что продолжение эксперимента способно привести к инвалидности или смерти субъекта исследования.

Знаменательным историческим документом морально-правового осмысления экспериментов на людях служат также материалы судебного процесса, осуществленного Военным трибуналом СССР в декабре 1949 г. в Хабаровске по делу бывших военнослужащих японской армии, обвиняемых в подготовке и применении бактериологического оружия [3].

Опыты на людях практиковались с незапамятных времен. Обычно объектами экспериментов становились заключенные, военнопленные, рабы, целые семьи. Следует отметить, что исследования и испытания на людях, при проведении которых была весьма велика вероятность инвалидизации и гибели испытуемых, проводились не только в нацистской Германии. В списке из 10 самых бесчеловечных и неэтичных экспериментов, поставленных на людях в разное время [7], перечислены эксперименты, проведенные в Японии, Великобритании, СССР, США, ЮАР.

В Японии при императоре Хирохито, имевшего биологическое образование, был создан специальный отряд японских вооруженных сил «Отряд 731», который занимался исследованиями в области биологического оружия, опыты производились на людях (военнопленных, похищенных). В 1936 г. отряд был размещен на территории Китая. Помощником в исполнении идеи императора был полковник – биолог Сиро Исии, который считал, что, в отличие от артиллерийских снарядов, бактериологическое оружие не может мгновенно убивать живую силу, зато оно без шума поражает человеческий организм, принося медленную, но мучительную смерть. Наряду с этим также проводились опыты с целью установления времени, которое человек может прожить под воздействием разных факторов (кипяток, высушивание, лишение пищи, лишение воды, обмороживание, электроток, вивисекция людей и др.). Нередко жертвы в отряд попадали вместе с членами семей, над которыми также проводили варварские исследования [8].

Известно также об испытаниях в СССР ряда смертельных ядов, проводимых секретной лабораторией «Камера» советских спецслужб на заключенных из ГУЛАГа. Руководитель токсикологического отделения этой лаборатории доктор медицинских наук Г.М. Майрановский экспериментировал над людьми и лично принимал участие в исследованиях. В ход шли горчичный газ, ризин, дигитоксин, таллий, колхицин и др. Целью экспериментов было нахождение ядовитого химического вещества без запаха и вкуса, следы которого не могли быть обнаружены при вскрытии. Жертвам часто давали яд вместе с едой, напитком или под видом лекарства [9].

Клинические исследования всех стадий сифилиса проводились с 1932 по 1972 г. над чернокожим населением города Таскиги, Алабама, США. В группу входили 399 человек, причем 201 из них до начала эксперимента не были больны сифилисом. Первоначальной задачей было выявить прогресс заболевания на протяжении всех стадий, в результате чего некоторым пациентам намеренно отказывали в лечении, а другим давали плацебо, чтобы иметь возможность наблюдать за роковыми последствиями болезни. К концу исследования, когда информация просочилась в прессу, из 399 человек в живых осталось лишь 74. Остальные умерли либо от сифилиса, либо от осложнений, вызванных им [7].

Эксперименты над лесбиянками и гомосексуалистами проводились в армии ЮАР во времена апартеида (в основном 70–80-х гг.). Выявленные представители сексуальных меньшинств подвергались химической кастрации, терапии при помощи электрического тока и другим неэтичным медицинским экспериментам. Точное число пострадавших неизвестно, но бывшие армейские хирурги склоняются к цифре в 900 человек, вынужденных пройти через «сексуальное переназначение». Операции проводились в период с 1971 по 1989 г. в военных госпиталях в рамках сверхсекретной программы по искоренению гомосексуальности из армии [7].

Проект MKULTRA или MK-ULTRA – кодовое название исследовательской программы ЦРУ по контролю разума – стартовал в начале 50-х гг. прошлого века и продолжался до конца 60-х. Исследования предусматривали применение разнообразных наркотиков, а также манипулирование психическим состоянием подопытных и использование других методов по изменению функций мозга. Эксперименты с применением ЛСД и других наркотиков проводились над людьми самого разного социального статуса, как правило, без ведома субъекта и соответственно его согласия [7].

Проведение бесчеловечных экспериментов свидетельствует об игнорировании врачами Гиппократовой этики и о пренебрежении «Клятвой Гиппократова», которая лежала в основе поведения врачей Древней Греции и Средневековья. Гиппократ говорил: «Жизнь – коротка, искусство – вечно, случай – мимолетен, эксперимент – коварен, а суждение – трудно» [10]. Говоря о «коварстве эксперимента», Гиппократ отдавал себе отчет в ограниченных возможностях медицины того времени помочь пациентам и связанным с этим искушением прибегать к героическим и зачастую опасным методам лечения, он убеждал своих коллег быть осторожными и следовать его совету: «...в деле врачевания следуй двум правилам – стремись помочь больному или, по крайней мере, не навреди». При этом Гиппократ отдавал себе также отчет в необходимости эксперимента в медицине, однако

в те времена врачи прибегали к использованию новых экспериментальных методов лечения только в целях исцеления данного конкретного пациента и только тогда, когда привычные методы оказывались неэффективными [11].

В России активными проводниками учения Гиппократова и идей врачебной этики были такие представители плеяды врачей-просветителей, как *М.Я. Мудров*, который сам перевел труды Гиппократова на русский язык и, будучи деканом медицинского факультета Московского университета, в лекциях, посвященных искусству врачевания, большое внимание уделял этическим наставлениям; *Ф.П. Гааз*, активно помогавший ссыльным, каторжным; *Н.И. Пирогов*, призывавший извлекать опыт из врачебных ошибок, а не утаивать их; *С.П. Боткин*, который считал важным быть правдивым в общении с пациентом, но и внушать ему надежду; *В.А. Манассеин*, отстаивавший незыблемость требований сохранения врачебной тайны; *В.В. Вересаев*, рассматривавший в своих работах врачебные ошибки, допустимость вскрытий, границы дозволенного в опытах на животных и людях [12]. Однако известно, что моральные основы медицинской профессии уже с давних времен находили отражение в государственных устоях России. Так, свидетельствами данного положения являются *Изборник Великого князя Святослава Ярославича* и *Свод юридических норм Киевской Руси (XI–XII вв.)*; правовой статус врачей в *Морском уставе Петра I (1720)* [3].

С середины 1960-х гг. в США, Западной Европе и СССР стала формироваться *биоэтика* как современная наука на стыке философии, культурологии, международного права, с одной стороны, и медицины – с другой. В рамках этого научного направления получили развитие как теоретические концепции обеспечения прав человека в биомедицине, так и организационные формы *проведения биоэтической экспертизы* [5]. Этическим и правовым регулированием биомедицинских исследований занимается целый ряд международных организаций. Это ООН, ЮНЕСКО, ВОЗ, Совет Европы, Всемирная медицинская ассоциация (WMA), Международный совет медицинских научных обществ (CIOMS) и другие. Принятые этими организациями документы играют важную роль в определении норм и правил биомедицинских исследований. Нормы проведения исследований с участием человека базируются как на положениях *Нюрнбергского кодекса (1947)*, так и на положениях *Женевской декларации (1948)*, *Международного кодекса медицинской этики (1983)*, *Декларации о проекте WMA «Геном человека» (1992)*, а также *Хельсинкской декларации (1964, последняя редакция 2013)*: «*Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта*» [13]. Принципиальным требованием этики проведения

биомедицинских исследований на человеке является *оправданность риска и дискомфорта*, которым подвергается испытуемый, важность ожидаемых результатов. Это требование ограничивается недопустимостью, неприемлемостью проведения исследования, в котором «есть основание предполагать возможность смерти или инвалидизирующего повреждения», о чем указывается как в пункте 5 Нюрнбергского кодекса, так и в Хельсингской декларации: «*При проведении исследований на людях интересы науки или общества не должны преобладать над соображениями о благополучии испытуемых*».

Основы проведения этической экспертизы были сформулированы в Бельмонтском докладе 1979 г., подготовленном Комиссией при президенте США по изучению этических проблем в медицине, медико-биологических и психологических исследованиях. Этой комиссии было поручено, кроме всего прочего, следить за тем, чтобы все принимаемые законы, регламентирующие проведение научных исследований, содержали требования защиты прав субъектов, которые участвуют в подобных исследованиях. Другими словами, речь шла о создании системы государственного контроля за соблюдением исследователями этических правил [14]. Юридическим документом для стран – членов Совета Европы, регулирующим проведение биомедицинских экспериментов и исследований, является *Конвенция о биомедицине и правах человека* (1997 и последующие редакции 1998, 2002, 2005). Если положения Нюрнбергского кодекса и Хельсингской декларации ограничиваются сферой медико-биологических исследований и экспериментов на людях и носят, скорее, характер морально-нравственных требований, то положения Конвенции распространяются и на сферу использования результатов этих исследований в медицинской практике. Конвенция является элементом международного права и содержит обязательство подписавших ее сторон «...предпринять все необходимые шаги по совершенствованию своего национального законодательства, с тем чтобы оно отражало положения настоящей Конвенции» (ст. 1). Одной из целей Конвенции являлось преодоление существующих различий в законодательствах разных стран в области контроля за проведением биомедицинских исследований на людях и использованием результатов этих исследований. Конвенция, рассматривая проблемы научного экспериментирования на человеке, перечисляет условия, при наличии которых человек может на вполне законном основании участвовать в научном эксперименте (ст. 16), обосновывает критерии защиты лиц, которые не в состоянии сами в полной мере выразить информированное согласие (ст. 17), запрещает вмешательство в геном человека с целью изменения генома его потомков (ст. 13) и др.

Таким образом, все документы, принятые международными сообществами, указывают на необходимость *проведения независимой этической экспертизы при исследованиях на человеке, которая должна возлагаться на биоэтические комитеты*, первоначально появившиеся в США, а после 1975 г. в ряде других стран. Многие нормы Конвенции так или иначе отражены и в российском законодательстве: ст. 21 Конституции РФ, ст. 16, 29 и 43 «Основ законодательства РФ об охране здоровья граждан» (1993). В связи с этим, появилась правовая база для создания в нашей стране Комитетов (Комиссий) по вопросам этики в области охраны здоровья граждан. Наряду с этим, в 1997 г. Всероссийским Пироговским съездом врачей был принят и одобрен Кодекс врачебной этики [15], в котором в разделе «*Научные исследования и биомедицинские испытания*» прописаны требования, которые необходимо соблюдать при проведении исследований на человеке:

1. Перед началом биомедицинского исследования, в том числе апробации новых лекарственных средств, биологически активных добавок, способов обследования, методов лечения, врач должен получить согласие на их проведение этического комитета (комиссии или ученого совета), с утверждением плана (протокола) предполагаемого исследования, в котором должны быть четко определены цели и этические аспекты, ход эксперимента, возможные осложнения.

2. Испытуемый после ознакомления с целями, методами, потенциальной пользой и возможным риском должен дать свое явно выраженное письменное согласие на участие в исследовании, которое по желанию пациента может быть беспрепятственно на любом этапе денонсировано им.

3. В отношении пациентов, неспособных дать осознанное согласие на участие в исследовании, согласие должно быть получено в письменной форме от родителей или другого законного представителя – юридически ответственного лица. Подобные исследования могут проводиться только в интересах спасения жизни, восстановления или поддержания здоровья исследуемого, без нанесения ему вреда, ухудшения здоровья и течения имеющегося заболевания.

4. Биомедицинские исследования на людях могут проводиться врачами с следующих случаев:

- если они служат улучшению здоровья пациентов, участвующих в эксперименте;
- если они вносят существенный вклад в медицинскую науку и практику;
- если результаты предшествующих исследований и данные научной литературы не свидетельствуют о риске развития осложнений.

5. Биомедицинские исследования на людях должны проводиться квалифицированными

в научном плане врачами-исследователями под наблюдением компетентных специалистов. Исследователи обязаны прервать испытания в случаях появления признаков, опасных для жизни и здоровья испытуемого. Испытания на беременных женщинах, на плодах и новорожденных запрещаются.

6. О результатах своих исследований врач после оформления авторского права на открытие, изобретение и др. должен через доступные ему средства профессиональной информации оповестить своих коллег.

Общие принципы этического контроля за проведением медико-биологических исследований нашли отражение и в практике соблюдения этических норм в авиакосмической медицине. Ранее при подготовке к первым космическим полетам и авиационным полетам с большими скоростями и на больших высотах исследования и испытания проводились с участием испытателей отряда, созданного в соответствии с государственными постановлениями и приказами в Государственном научно-исследовательском испытательном институте авиационной и космической медицины МО СССР (ГНИИИ АиКМ) [16]. Эти исследования проводились на основании разработанного в институте «Положения о порядке проведения исследований и испытаний с участием человека». Основными видами проводимых испытаний являлась оценка переносимости таких воздействий, как ускорения, невесомость в параболических полетах и ее моделирование в длительной гипокинезии, резкие и плавные изменения барометрического давления, изменения давления в системе дыхания, высокие и низкие температуры, повышенная влажность, вибрации и шум, малые дозы излучений, химические вещества. Кроме того, проводилось изучение летной деятельности в реальном полете, а также на пилотажных тренажерах и специальных стендах в условиях воздействия экстремальных психофизиологических факторов, в том числе с имитацией аварийных ситуаций. Проводились испытания в условиях длительной изоляции в сурдокамере, при сильных психических и информационных воздействиях, в условиях, нарушающих нормальный отдых, испытания продовольственных и питьевых рационов, средств спасения и выживания в различных климатогеографических зонах, в воде, акклиматизации в условиях высокогорья [16]. В ряде случаев эксперименты проводились с превышением уровня приемлемого или допустимого риска. Однако все это диктовалось особенностями того исторического периода – периода становления отечественной авиационной и космической медицины. Естественно, работа человека в качестве испытателя подобных нагрузок породила целый ряд биоэтических проблем. В Институте медико-биологических проблем после его образования также было разработано «Положение о проведении биомедицинских исследований и испытаний на человеке».

С созданием в 1993 г. Комиссии по биомедицинской этике в ГНЦ РФ – Институте медико-биологических проблем РАН все физиолого-гигиенические и психофизиологические экспериментальные исследования и испытания на человеке, проводящиеся в лабораторных, стендовых и полевых условиях, а также в реальных космических полетах, подвергаются этической экспертизе. Участвующие в таких исследованиях совершенно здоровые добровольцы осознанно выражают согласие стать объектом экспериментальных воздействий в интересах получения научных данных, важных для решения актуальных проблем космической медицины, обеспечения безопасности и эффективности пилотируемых космических полетов [17]. Поскольку изучаемые факторы могут носить экстремальный характер, моделирование их воздействия на организм человека в экспериментах должно регламентироваться строгим соблюдением норм и принципов биоэтики:

- приемлемостью или допустимостью экспериментального исследования и оправданностью степени его воздействия, высокой научно-практической значимостью;

- невозможностью получения ожидаемого научного результата альтернативным методом;

- добровольным, ясно выраженным согласием на участие в эксперименте, основанное: на исчерпывающей информированности об условиях его проведения, о рисках, с которым он может быть связан, о правах на отказ от продолжения эксперимента, на нераспространение сведений личного характера, на обеспечение безопасности проводимых исследований, на оказание, при необходимости, медицинской помощи, на компенсацию возможного ущерба здоровью. Реализация этих норм и принципов обеспечивается в ходе процедур оценки научно-практической значимости планируемого исследования, проводимой компетентными специалистами, входящими, например, в состав Экспертного или Ученого совета, а также в процессе биоэтической экспертизы заявок на реализацию программ (протоколов) экспериментальных исследований, которая проводится Комитетами (Комиссиями) по биоэтике (КБЭ). В результате достаточно четко прописанной процедуры экспертизы КБЭ выносятся заключения об уровне рисков, с которыми связано проведение запланированного исследования, о соответствии исследования биоэтическим нормам и о допустимости (недопустимости) его проведения. Решение КБЭ о недопустимости проведения исследования не может быть отменено административными инстанциями, но может быть пересмотрено после полного приведения документации на проведение эксперимента в соответствии с биоэтическими нормами [17]. При этом необходимо учитывать, что биомедицинские исследования и испытания с участием человека могут проводиться в обстановке

реального или имитированного воздействия экстремальной среды, что само по себе, независимо от примененной методики исследования, может быть источником риска и дискомфорта для испытуемого. Как правило, эти исследования (испытания) проводятся по комплексным программам с использованием разнообразных методов исследования различных функциональных систем, что создает предпосылки к суммированию эффекта экспериментальных воздействий и соответственно увеличению степени риска [2].

Термин *риск* используется в разных сферах человеческой деятельности, в основном характеризуя негативные проявления в окружении человека. Понятие «риск» очень близко к понятию «вероятность» [18]. Исходя из теории вероятности, можно определить риск как количественный показатель опасности, вероятного ущерба, наступившего в результате проявления неблагоприятного события, при этом само событие тоже возникает с определенной вероятностью:

- вероятность возникновения опасного фактора;
- возможность возникновения ущерба от проявления этого опасного фактора;
- неопределенность в оценке величины вероятности и ущерба.

В мировой практике при проведении биомедицинских исследований и испытаний на человеке используется шкала рисков: *чрезвычайный риск* (недопустимый), *приемлемый риск* (допустимый), *пренебрежимый риск* (минимальный):

– Термин *чрезмерный или недопустимый риск* означает, что при соблюдении всех планируемых мер обеспечения безопасности исследования сохраняется угроза жизни и здоровью испытуемых, лежащая в природе конкретных методических приемов, либо вследствие недостаточного опыта применения этих приемов в медицинской практике.

– Термин *приемлемый или допустимый риск* означает, что вероятность и степень ожидаемого вреда и дискомфорта в результате исследования превышают вероятность и степень вреда и дискомфорта в повседневной жизни или во время обычного медицинского или психологического обследования (испытания), но не создают угрозы для жизни и здоровья обследуемого. Учитывая пользу и важность знаний, получаемых в результате этих исследований или испытаний, риск и дискомфорт рассматриваются как оправданные. Такого рода риски могут быть связаны, во-первых, с используемыми методами исследования (*пункции, зондирования, биопсии, парентеральные введения лекарственных препаратов и диагностических веществ, а также другие инвазивные процедуры, применение которых базируется на убедительных научных обоснованиях, на принятии действенных мер,*

*способных снизить потенциальную опасность или эффективно устранить возможные последствия; нагрузочные воздействия или функциональные пробы, например вестибулярные, ортостатические и др., которые способны временно изменить функциональное состояние испытуемого, но применение которых научно обосновано и обеспечено мерами, способными устранить или снизить потенциальную опасность применения этих проб и др.*). Во-вторых, с этой категорией рисков могут быть связаны и методы, моделирующие воздействие на организм изучаемых экстремальных факторов (*перегрузок, вибраций, линейных и угловых ускорений, реальной или моделируемой невесомости, изменений барометрического давления, газового состава атмосферы, параметров среды обитания и др.*), если такие воздействия проводятся в строго контролируемых условиях, обеспечивающих их безопасность.

– Термин *пренебрежимый или минимальный риск* означает, что вероятность и степень ожидаемого вреда и дискомфорта в результате проведения исследования не превышают вероятность и степень вреда, ожидаемого в повседневной жизни или при проведении обычного медицинского или психологического обследования (испытания). *Примерами такого рода рисков могут быть: взятие образцов продуктов жизнедеятельности и наружной секреции; наложение датчиков на поверхность тела без применения агрессивных веществ или приложения потенциально опасных величин энергии к испытуемому; регистрация электрофизиологических функций, измерение антропометрических показателей и температуры, ультразвуковая диагностика; умеренной интенсивности физическая нагрузка, предъявляемая практически здоровым добровольцам; исследование индивидуального или группового поведения, процессов восприятия; использование психологических тестов, в которых исследователь не манипулирует поведением испытуемого, а исследование не вызовет у них стресс, и др.*

Одним из важнейших показателей в анализе рисков при проведении биомедицинских экспериментов на человеке является *приемлемый или допустимый риск*. *Приемлемый риск* – это риск, который общество может принять или согласиться с такой величиной на данном этапе своего исторического развития. Для определения приемлемого риска важным является выделение как отдельных элементов риска, так и его совокупности. Концепция приемлемого риска – одна из активно разрабатываемых в общей теории риска для здоровья людей. Одним из подходов в реализации этой концепции является принцип ALARA, представляющий собой аббревиатуру от словосочетаний *As Low As Reasonable Achievable*, что в буквальном переводе означает: *так низко, как это достижимо в пределах разумного*. Суть принципа ALARA заключается в снижении

вероятности опасности настолько, насколько этого можно достичь практически (т.е. в реальных, а не в идеальных условиях) [19].

Обеспечение максимально возможной безопасности для испытуемого реализуется установлением строгого и квалифицированного контроля за всеми этапами планирования, подготовки и проведения экспериментального исследования на человеке со стороны служб, обеспечивающих безопасность проведения исследований (испытаний) со стороны ответственного исполнителя исследования, врача, ведущего медицинский контроль за состоянием испытуемого и готового оказать ему медицинскую помощь в случае возникновения неблагоприятных реакций на экспериментальное воздействие. Специальные требования предъявляются к мерам обеспечения безопасности биомедицинских исследований и испытаний, выполнение которых планируется в реальных условиях профессиональной деятельности человека. Особенности таких исследований и испытаний являются [1]:

- отсутствие непосредственного контакта испытуемого и исследователя (за исключением случаев, когда врач-исследователь сам является участником этой деятельности);

- комбинированное воздействие изучаемого фактора и других факторов, в частности, условий обитания внутри конкретного технического сооружения, частично или полностью изолированного от внешней среды;

- необходимость выполнения испытуемым значительного объема работ, приоритетных для данного исследования;

- проведение на одном и том же испытуемом нескольких исследований, включая функциональные пробы;

- методические трудности, связанные с ограниченными возможностями использования экспериментальной аппаратуры;

- ограниченные возможности оказания, в случае необходимости, медицинской помощи.

В связи с этим при планировании биомедицинских экспериментов и исследований в реальных условиях профессиональной деятельности человека необходимо:

- не допускать проведение исследований по методикам, не апробированным в лабораторных или клинических условиях;

- не допускать исследований, проведение которых в лабораторных или клинических условиях связано с риском возникновения состояний, опасных для жизни и здоровья испытуемого;

- планировать проведение нагрузочных функциональных проб только после их апробации в лабораторных экспериментах, моделирующих физиологические эффекты действия на человека ведущих факторов реальной деятельности;

- избегать исследований, вызывающих состояния выраженного дискомфорта и нарушающих качество профессиональной деятельности испытуемого.

Применение *инвазивных методов* требует принятия особых мер и допустимо лишь при доказательстве их безопасности и невозможности получения важного научно-практического результата альтернативным путем.

Поэтому в качестве регулятора безопасности людей при проведении биомедицинских исследований и испытаний, наряду с концепцией *приемлемого* или *допустимого* риска, должно использоваться понятие *оправданного* риска, согласно которому возможен риск, который связан с получением полезных и значимых результатов для науки и общества. Примером оправданного риска могут служить исследования в серии экспериментов с моделированием некоторых факторов межпланетного полета по программе «Марс-500», выполненных с широким международным участием под руководством Роскосмоса и Российской академии наук на базе научно-экспериментального комплекса (НЭК) ГНЦ РФ – Института медико-биологических проблем РАН.

Самый длительный эксперимент из этой серии с 520-суточной изоляцией международного экипажа, состоящего из 6 испытателей-добровольцев, был направлен на изучение взаимодействия в контуре «человек – окружающая среда» и получение экспериментальных данных о состоянии здоровья и работоспособности человека в условиях длительной изоляции в герметически замкнутом пространстве ограниченного объема при моделировании основных условий и ограничений, присущих полету на Марс [20].

Комиссия по биомедицинской этике Института медико-биологических проблем рассмотрела программу 520-суточного эксперимента в целом и каждый из 106 представленных российскими и иностранными специалистами исследовательских проектов. В результате биоэтической экспертизы программы 520-суточного эксперимента Комиссией было вынесено решение, что условия проведения эксперимента, моделирующего специфические особенности обитания и профессиональной деятельности экипажа в полете к Марсу, во многом (за исключением невесомости и радиационной обстановки) воспроизводят ограничения, характерные для межпланетного космического полета, и позволяют получить важную научно-практическую информацию для решения проблем, связанных с медицинским обеспечением реального полета. По мнению Комиссии, запланированный 520-суточный эксперимент был научно обоснован, нормам биомедицинской этики не противоречил, а суммарный риск, связанный с его проведением в контролируемых условиях, был отнесен к категории *приемлемого* или *допустимого*. Отдельно было вынесено решение по каждому исследовательскому проекту.

Отдельно хотелось бы отметить, что вся персонализированная информация, полученная в ходе биомедицинских исследований и испытаний, носит конфиденциальный характер и требует постоянного кодирования, что соответствует ст. 26 Кодекса «О защите прав и достоинства человека в биомедицинских исследованиях в государствах – участниках СНГ», принятого на 26 пленарном заседании Межправительственной ассамблеи государств – участников СНГ (постановление № 26-10 от 18 ноября 2005 г.), соответствует ст. 7 и 9 Федерального закона о персональных данных (принят Государственной думой 8 июля 2006 г.) и п. 24 «Частная жизнь и конфиденциальность» Хельсинкской декларации (редакция 2013 г.).

Вышеизложенное свидетельствует о многообразии международных и национальных нормативных документов по биомедицинской этике, в которых детально описаны требования к подготовке и проведению биомедицинских исследований и испытаний на человеке. Если выделить из этих требований самые главные, то можно свести их к следующим:

- цель и задачи исследований и испытаний на человеке должны быть направлены на решение актуальных проблем медицинской науки и практики;
- должны быть приняты меры по обеспечению технической безопасности проведения исследований и испытаний и отобраны те методики и процедуры исследований и испытаний, которые не создают угрозы здоровью и жизни обследуемых;
- программа биомедицинских исследований и испытаний должна быть оформлена в соответствии с принятыми стандартами и одобрена научным сообществом;
- должно быть получено добровольное информированное согласие обследуемых на участие в эксперименте и обработку своих персональных данных;
- должно быть положительное заключение Комиссии по биомедицинской этике на условия проведения эксперимента и протокол исследований и испытаний.

При условии выполнения этих требований проведение биомедицинских исследований и испытаний можно считать приемлемым.

#### Список литературы

1. Григорьев А.И., Генин А.М., Юдин Б.Г. Этика исследований и испытаний на человеке, действующем в экстремальных условиях // Биомедицинская этика. Вып. 2 / В.И.Покровский, Ю.М. Лопухин, ред. М., 1999. С. 196–211.  
Grigoriev A.I., Genin A.M., Yudin B.G. Ethics of research and tests regarding to human in extreme conditions // Biomedical ethics. Is. 2. / V.I. Pokrovskiy, Yu.M. Lopukhin, eds. Moscow, 1999, P. 196–211.

2. Генин А.М., Смирнова Т.А. Этические аспекты проведения физиолого-гигиенических и психофизиологических исследований и испытаний на человеке применительно к его деятельности в экстремальных условиях // Авиакосм. и экол. мед. 1998. Т. 32. № 6. С. 50–55.

Genin A.M., Smirnova T.A. Ethic aspects of conducting physiological/hygienic and psychophysiological studies and tests on human subjects as applied the activities in extreme environment // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 1998. V. 32. № 6. P. 50–55.

3. Кубарь О.И. Современное состояние и перспективы совершенствования этической экспертизы биомедицинских исследований в России // Матер. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы биоэтики в России». М., 2000. С. 16–43.

Kubar' O.I. Current state and prospects of improvement of ethical review of biomedical research in Russia // Transactions of scientific applied conference «Actual problems of bioethics in Russia». Moscow, 2000. P. 16–43.

4. Глязер Г. Драматическая медицина. Опыты врачей на себе, М., 1965.

Glyazer G. Dramatic medicine. Experiments of doctors on themselves. Moscow, 1965,

5. Юдин Б.Г. Горький юбилей // Биоэтика: принципы, правила, проблемы. М., 1998. С. 170–191.

Yudin B.G. Bitter jubilee // Bioethics: principals, rules, problems. Moscow, 1998. P. 170–191.

6. Нюрнбергский кодекс // Этические и правовые проблемы клинических испытаний и научных экспериментов на человеке и животных. М., 1994. С. 42–43.

Nuremberg Code // Ethical and legal problems of clinical trials and scientific experiments on humans and animals. Moscow, 1994. P. 42–43.

7. 10 самых жестоких экспериментов над людьми // HOWTOP.RU: Веб-журнал простых ответов на сложные вопросы, 2014.

10 most cruel experiments on people // HOWTOP.RU: Web journals prostikh otvetov na slozhnie voprosy, 2014.

8. Моримура С. Кухня дьявола. М., 1983.

Morimura S. Devil's cook-house. Moscow, 1983.

9. Бирштейн В.Я. Эксперименты на людях – не только в нацистской Германии // Биоэтика: принципы, правила, проблемы. М., 1998. С. 192–209.

Birshtein V.Ya. Experiments on humans – not only in fascist Germany // Bioethics: principals, rules, problems. Moscow, 1998. P. 192–209.

10. Гиппократ. Избранные книги. Т. 1. М., 1936.

Hippocrates. Selected works. V. 1. M., 1936.

11. Катц Дж. Защита испытуемых и пациентов: уроки Нюрнберга // Биоэтика: принципы, правила, проблемы. М., 1998. С. 177–191.

Katst Dzh. The protection of test subjects and patients: Nuremberg lessons // Bioethics: principals, rules, problems. Moscow, 1998. P. 177–191.

12. Иванюшкин А.Я. Врачебная этика в России (XIX – начало XX вв.) // Там же. С. 93–110.

Ivanyushkin A.Ya. Medical ethics in Russia (XIX – beginning of XX century) // Ibid. P. 93–110.

13. Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации: «Рекомендации для врачей по проведению биомедицинских исследований на людях». Хельсинки, 1964 (доп. 1975, 1983, 1996, 2000, 2002, 2004, 2008, 2013).

Helsinki Declaration of World Medical Association: «Recommendations for physician to conduct biomedical research on humans». Helsinki, 1964 (suppl. 1975, 1983, 1996, 2000, 2002, 2004, 2008, 2013).

14. Игнатъев В.Н. Этический комитет: история создания, модели, уровни и перспективы деятельности // Биомедицинская этика. Вып. 1 / В.И. Покровский, ред. М., 1997. С. 207–223.

Ignatiev V.N. Ethical committee: history of creation, models, levels and prospects of activity // Biomedical ethics. Is. 1 / V.I. Pokrovskiy, ed. Moscow, 1997. P. 207–223.

15. Кодекс врачебной этики // Там же. Вып. 2 / В.И. Покровский, Ю.М. Лопухин, ред. М., 1999. С. 217–224.

The code of medical ethics // Ibid. Is. 2 / V.I. Pokrovskiy, Yu. M. Lopukhin, eds. Moscow, 1999. P. 217–224.

16. Ушаков И.Б., Бедненко В.С. История отряда испытателей ГНИИИ авиационной и космической медицины Министерства обороны // Авиакосм. и экол. мед. 2011. (Приложение «Космический альманах». №12.4. С. 64–72).

Ushakov I.B., Bednenko V.S. The history of test subjects contingent of SNRT Institute of aviation and space medicine of USSR Ministry of Defense // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2011. (Prilozhenie «Kosmicheskii almanakh»). № 12.4. P. 64–72.

17. Пестов И.Д., Смирнова Т.А. Этические правила и законодательные пробелы в организации проведения неклинических исследований на человеке // Черные дыры в российском законодательстве. М., 2008. № 2. С. 451–452.

Pestov I.D., Smirnova T.A. The ethical rules and legislative blanks in organization of non-clinical research on humans // Chernye dyry v rossiyskom zakonodatelstve. Moscow, 2008. № 2. P. 451–452.

18. Приемлемый риск // Экология: Справочник. URL: // ru-ecology.info/term/9462/.

Acceptable risk // Ecology: Reference book. URL: // ru-ecology.info/term/9462/.

19. Момот О.А., Сынзыныс Б.И. Концепция приемлемого риска в гигиеническом нормировании // Известия Калужского общества изучения природы: Кн. 7. (Сборник научных трудов) / С.К. Алексеев, В.Е. Кузьмичев, ред. Калуга, 2006. С. 46–52.

Momot O.A., Synzynys B.I. The concept of permissible risk in hygienic standardization // Izvestia Kaluzhskogo obshestva izuchenia prirody: B. 7. (Sbornik nauchnykh trudov) / S.K. Alekseev, V.E. Kuzmichev, eds. Kaluga, 2006. P. 46–52.

20. Моруков Б.В., Белаковский М.С., Демин Е.П., Суворов А.В. Эксперимент с 520-суточной изоляцией в гермообъеме: задачи, структура, предварительные итоги // Междунар. симп. по результатам экспериментов, моделирующих пилотируемый полет на Марс (Марс-500). М., 2012. С. 44.

Morukov B.V., Belakovskiy M.S., Demin E.P., Suvorov A.V. The experiment with 520-day isolation in hermetic chamber: applications, structure, preliminary results // International symposium on the results of experiments modeling manned mission to Mars (Mars-500). Moscow, 2012. P. 44.

Поступила 17.01.2017

## ETHICS OF BIOMEDICAL INVESTIGATIONS AND TESTS

Smirnova T.A., Ilyin E.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 4. P. 59–68

*The article deals with the ethical approaches to biomedical investigations and tests with human subjects aimed to extend the sphere of safe and productive activity of people in extreme environments. It expounds the basic provisions of international and national documents laying down the bioethical principles of biomedical investigations of humans. It also covers the issues of acceptability or admissibility of these investigations within comprehensive studies involving a broad variety of methods.*

Key words: biomedical investigations, extreme environment, bioethical principles, reasonable risk.

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 611.08:611.817.1:599.3/8+615.2216.85

### ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ ГАМК-ЕРГИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТА В ДЕЙСТВИИ МЕЛАТОНИНА НА УРОВНЕ МОЗЖЕЧКА ЖИВОТНЫХ

Яснецов В.В.<sup>1</sup>, Мотин В.Г.<sup>1,2</sup>, Яснецов Вик.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина, Москва

E-mail: vvy@lsn.ru

*В экспериментах на переживающих срезах мозжечка крыс показано, что мелатонин (в концентрации 5 мМ) угнетал популяционные ответы клеток Пуркинье на  $69 \pm 5$  %. На фоне действия блокатора хлор-ионофорной части ГАМК<sub>A</sub>-бензодиазепин-рецепторного комплекса пикротоксина (20 мкМ) депрессирующий эффект мелатонина (5 мМ) практически полностью ослаблялся на  $94 \pm 5$  %, а на фоне блокатора ГАМК<sub>B</sub>-рецепторов саклофена (20 мкМ) – на  $68 \pm 4$  %. Следовательно, на фоне саклофена эффект мелатонина в 5,3 раза более выражен, чем при применении пикротоксина. Можно заключить, что мелатонин способен угнетать синаптическую передачу в системе параллельные волокна мозжечка – клетки Пуркинье крыс. При этом ведущую роль в реализации его действия играет ГАМК<sub>A</sub>-бензодиазепин-рецепторный комплекс, а ГАМК<sub>B</sub>-рецепторы – второстепенную.*

Ключевые слова: мозжечок, клетки Пуркинье, мелатонин, пикротоксин, саклофен.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 4. С. 69–71.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-4-69-71

В настоящее время известно, что мелатонин (основной гормон шишковидной железы) обладает уникальным спектром биологической активности, в частности, оказывает антиоксидантное, адаптогенное и снотворное действие, тормозит секрецию гонадотропинов, нормализует циркадные ритмы, регулирует цикл сон – бодрствование, суточные изменения локомоторной активности и температуры тела, положительно влияет на интеллектуально-мнестические функции мозга, эмоционально-личностную сферу, снижает стрессовые реакции, регулирует нейроэндокринные функции, проявляет иммуностимулирующие и противовоспалительные свойства, предупреждает развитие атеросклероза и новообразований и др. [1–6]. Основная причина универсальных защитных свойств мелатонина – ограничение окислительного стресса и модуляция любых патологических процессов; при этом он в качестве лекарственного средства малотоксичен,

относительно безопасен и его широко используют в клинике [7–10].

Ранее было установлено [11, 12], что мелатонин (за счет стимуляции мелатониновых MT<sub>1</sub>-, MT<sub>2</sub>- и ГАМК<sub>A</sub>-рецепторов) оказывает выраженное противоионотропное действие у крыс, превосходя известный вестибулопротектор прометазин.

Известно, что мозжечок участвует в моторном контроле, осуществлении вестибулярной функции, когнитивных процессов и др. [13–15]. При этом ключевой элемент мозжечка – клетки Пуркинье – высококодифференцированные нейроны с обширным ветвлением дендритов и различными типами многочисленных синаптических контактов и обеспечивают единственный выход из мозжечка, являясь ГАМК-ергическими.

Также ранее в экспериментах на кошках показано, что мелатонин (при пневмомикроинъекции) оказывал прямое влияние на 81 % клеток Пуркинье; при этом в его угнетающее влияние вовлечены как мелатониновые (MT<sub>1</sub>- и MT<sub>2</sub>-рецепторы), так и ГАМК<sub>A</sub>-рецепторы [16].

Исходя из изложенного, в данной работе на переживающих срезах мозжечка крыс исследовали роль ГАМК-ергического компонента в действии мелатонина с помощью других анализаторных веществ – пикротоксина (блокатор хлор-ионофорной части ГАМК<sub>A</sub>-бензодиазепин-рецепторного комплекса) и саклофена (блокатор ГАМК<sub>B</sub>-рецепторов).

#### Методика

Эксперименты проведены на переживающих срезах мозжечка белых нелинейных крыс-самцов массой 200–220 г (14 животных). Приготовление и инкубирование срезов проводилось так, как описано ранее в работе [17]. Состав перфузионной среды (мМ): NaCl – 126, KCl – 3, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – 1,25, MgSO<sub>4</sub> – 1,2, CaCl<sub>2</sub> – 2, NaHCO<sub>3</sub> – 26, глюкоза – 10. Раствор насыщали газовой смесью – 95 % O<sub>2</sub> и 5 % CO<sub>2</sub> (pH 7,4 при температуре  $35 \pm 0,5$  °C). Скорость протока составляла 2 мл/мин. Период адаптации среза

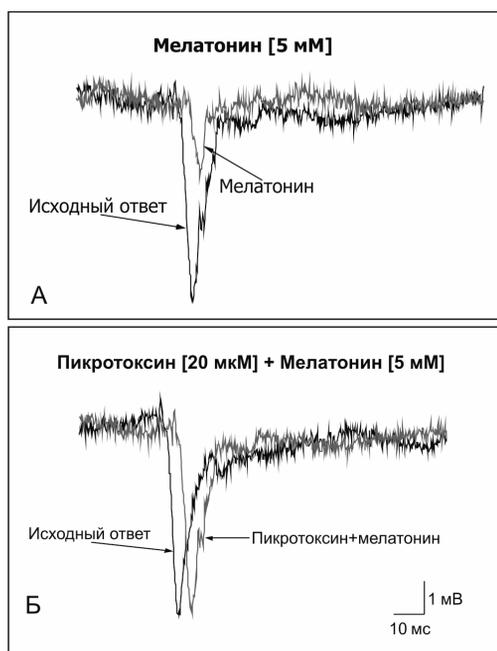


Рисунок. Влияние мелатонина в концентрации 5 мМ (А) и его действие на фоне пикротоксина (20 мкМ) (Б) на популяционные ответы клеток Пуркинью крыс. По оси абсцисс – время, 10 мс; по оси ординат – амплитуда, 1 мВ

к указанной солевой среде продолжался не менее 1 ч, после чего приступали к регистрации исходных показателей. Электрическую стимуляцию параллельных волокон мозжечка осуществляли посредством платиновых биполярных электродов и регистрировали популяционные ответы в среднем слое грушевидных нейронов коры мозжечка (слой клеток Пуркинью) с помощью одноканальных стеклянных микроэлектродов. Более подробно методика описана ранее в работе [16].

В работе использовали мелатонин (Sigma-Aldrich, США). В качестве анализаторных веществ были использованы блокатор хлор-ионофорной части ГАМК<sub>A</sub>-бензодиазепин-рецепторного комплекса пикротоксин и блокатор ГАМК<sub>B</sub>-рецепторов саклофен (Sigma-Aldrich, США).

Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием программ BioStat 2009 Professional и OriginPro 8 SRO.

Проведение экспериментов одобрено Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 427 от 27.06.2016 г.).

#### Результаты и обсуждение

На переживающих срезах мозжечка крыс показано, что мелатонин в концентрации 5 мМ ( $p < 0,001$ ) угнетал популяционные ответы клеток Пуркинью на  $69 \pm 5 \%$  ( $n = 10$ ) (рисунок, А). Блокатор

хлор-ионофорной части ГАМК<sub>A</sub>-бензодиазепин-рецепторного комплекса пикротоксин в концентрации 20 мкМ ( $n = 7$ ) существенно не влиял на популяционные ответы клеток Пуркинью крыс. Вместе с тем на фоне действия пикротоксина ( $n = 9$ ) депрессирующий эффект препарата (5 мМ) практически полностью ослаблялся на  $94 \pm 5 \%$  ( $p < 0,001$ ) (см. рис., Б).

Блокатор ГАМК<sub>B</sub>-рецепторов саклофен в концентрации 20 мкМ ( $n = 7$ ) также существенно не влиял на популяционные ответы клеток Пуркинью крыс. В то же время на фоне действия саклофена ( $n = 8$ ) депрессирующий эффект мелатонина (5 мМ) ослаблялся на  $68 \pm 4 \%$  ( $p < 0,001$ ).

Следовательно, на фоне саклофена эффект мелатонина в 5,3 раза ( $p < 0,001$ ) более выражен, чем при применении пикротоксина. Это свидетельствует о том, что ведущую роль в реализации действия мелатонина играет ГАМК<sub>A</sub>-бензодиазепин-рецепторный комплекс, а ГАМК<sub>B</sub>-рецепторы – второстепенную.

Полученные нами результаты хорошо согласуются с данными литературы. Так, например, в пользу этого говорит тот факт, что у нейронов коры мозжечка кошек в угнетающее действие мелатонина вовлечены как мелатониновые (MT<sub>1</sub>- и MT<sub>2</sub>-рецепторы), так и ГАМК<sub>A</sub>-рецепторы [16].

Итак, мелатонин способен угнетать синаптическую передачу в системе параллельных волокон мозжечка – клетки Пуркинью крыс. При этом ведущую роль в реализации его действия играет ГАМК<sub>A</sub>-бензодиазепин-рецепторный комплекс, а ГАМК<sub>B</sub>-рецепторы – второстепенную.

#### Выводы

1. На переживающих срезах мозжечка белых нелинейных крыс-самцов мелатонин в концентрации 5 мМ угнетает популяционные ответы клеток Пуркинью на  $69 \pm 5 \%$ .
2. На фоне действия блокатора хлор-ионофорной части ГАМК<sub>A</sub>-бензодиазепин-рецепторного комплекса пикротоксина (20 мкМ) депрессирующий эффект мелатонина (5 мМ) практически полностью ослабляется на  $94 \pm 5 \%$ .
3. На фоне действия блокатора ГАМК<sub>B</sub>-рецепторов саклофена (20 мкМ) депрессирующий эффект мелатонина (5 мМ) ослабляется на  $68 \pm 4 \%$ .

*Работа выполнена по Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг.*

#### Список литературы

1. Арушанян Э.Б. Роль ренин-ангиотензиновой системы в кардиоваскулярных эффектах мелатонина // Эксперим. и клин. фармакология. 2015. Т. 78. № 3. С. 40–43.

- Arushanyan E.B. Role of rennin-angiotensin system in cardiovascular effects of melatonin // *Eksperimentalnaya i klinicheskaya farmakologiya*. 2015. V. 78. № 3. P. 40–43.
2. Brigo F, Igwe S.C., Del Felice A. Melatonin as add-on treatment for epilepsy // *Cochrane Database Syst. Rev.* 2016. № 8. CD006967.
3. Chen Y, Zhang J, Zhao Q. et al. Melatonin induces anti-inflammatory effects to play a protective role via endoplasmic reticulum stress in acute pancreatitis // *Cell Physiol. Biochem.* 2016. V. 40. № 5. P. 1094–1104.
4. Herrera-Arozamena C., Martí-Marí O., Estrada M. et al. Recent advances in neurogenic small molecules as innovative treatments for neurodegenerative diseases // *Molecules*. 2016. V. 21. № 9. pii: E1165.
5. Montiel M., Bonilla E., Valero N. et al. Melatonin decreases brain apoptosis, oxidative stress, and CD200 expression and increased survival rate in mice infected by Venezuelan equine encephalitis virus // *Antivir. Chem. Chemother.* 2015. V. 24. № 3–4. P. 99–108.
6. Reiter R.J., Mayo J.C., Tan D.X. et al. Melatonin as an antioxidant: under promises but over delivers // *J. Pineal Res.* 2016. Aug 8. DOI: 10.1111/jpi.12360.
7. Арушанян Э.Б. Ограничение окислительного стресса как основная причина универсальных защитных свойств мелатонина // *Эксперим. и клин. фармакология*. 2012. Т. 75. № 5. С. 44–49.
- Arushanyan E.B. Limitation of oxidative stress as the main factor of the universal protective properties of melatonin // *Eksperimentalnaya i klinicheskaya farmakologiya*. 2012. V. 75. № 5. P. 44–49.
8. Арушанян Э.Б., Щетинин Е.В. Мелатонин как универсальный модулятор любых патологических процессов // *Патол. физиология и эксперим. терапия*. 2016. Т. 60. № 1. С. 79–88.
- Arushanyan E.B., Shchetinin E.V. Melatonin as universal modulator of any pathological processes // *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimentalnaya terapiya*. 2016. V. 60. № 1. P. 79–88.
9. Emet M., Ozcan H., Ozel L. et al. A review of melatonin, its receptors and drugs // *Eurasian J. Med.* 2016. V. 48. № 2. P. 135–41.
10. Opie L.H., Lecour S. Melatonin has multiorgan effects // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Pharmacother.* 2016. V. 2. № 4. P. 258–265.
11. Яснецов В.В., Мотин В.Г., Карсанова С.К. и др. Исследование вестибулопротекторных свойств мелатонинергических средств // *Авиакосм. и экол. мед.* 2014. Т. 48. № 2. С. 31–34.
- Yasnetsov V.V., Motin V.G., Karsanova S.K. et al. Investigation into the vestibular protective properties of melatoninergic agents // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2014. V. 48. № 2. P. 31–34.
12. Яснецов В.В., Карсанова С.К., Яснецов Вик.В. Новый подход к изысканию вестибулопротекторов // *Там же*. 2015. Т. 49. № 1. С. 5–12.
- Yasnetsov V.V., Karsanova S.K., Yasnetsov Vik.V. A new approach to the search for vestibuloprotectors // *Ibid.* 2015. V. 49. № 1. P. 5–12.
13. Фанарджян В.В., Григорьян Р.А. Интегративные механизмы мозжечка: Руководство по физиологии. Частная физиология нервной системы. Л., 1983. С. 112–170.
- Fanardzhayn V.V., Grigorayn R.A. Integrative mechanism of cerebellum: The guide to physiology. Partial physiology of nervous system. Leningrad, 1983. P. 112–170.
14. Hawkes R. Purkinje cell stripes and long-term depression at the parallel fiber – Purkinje cell synapse // *Front Syst. Neurosci.* 2014. V. 8. Art. 41. P. 1–11.
15. Dempsey C., Sawtell N.B. The timing is right for cerebellar learning // *Neuron*. 2016. V. 92. № 5. P. 931–933.
16. Яснецов В.В., Мотин В.Г., Яснецов Вик.В. и др. Действие вестибулопротекторов мексидола и мелатонина на уровне мозжечка животных // *Авиакосм. и экол. мед.* 2014. Т. 48. № 6. С. 30–33.
- Yasnetsov V.V., Motin V.G., Yasnetsov Vic.V. et al. Effects of vestibuloprotectors mexidol and melatonin on animal cerebellum // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2014. V. 48. № 6. P. 30–33.
17. Мотин В.Г., Яснецов Вик.В., Забозлаев А.А. и др. Электрофизиологическое исследование механизма действия мексидола // *Эксперим. и клин. фармакология*. 2012. Т. 75. № 1. С. 3–7.
- Motin V.G., Yasnetsov Vic.V., Zabozaev A.A. et al. Electrophysiological study of the mechanism of mexidol effect // *Eksperimentalnaya i klinicheskaya farmakologiya*. 2012. V. 75. № 1. P. 3–7.

Поступила 21.12.2016

## STUDY OF THE ROLE OF THE GABA-ERGIC COMPONENT IN THE MELATONIN ACTION ON THE ANIMAL CEREBELLUM

Yasnetsov V.V., Motin V.V., Yasnetsov Vik.V.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 4. P. 69–71

*In experiments with surviving rat's cerebellum sections melatonin (5 mM) inhibited population responses of Purkinje cells on  $69 \pm 5$  %. This effect of melatonin virtually annulled ( $94 \pm 5$  %) in the presence of picrotoxin (20  $\mu$ M), a blocker of benzodiazepine-GABA<sub>A</sub>-chloride-ionophore receptor complex, and reduced significantly ( $68 \pm 4$  %) in the presence of saclophen (20  $\mu$ M), a blocker of GABA<sub>B</sub>-receptors. Consequently, the melatonin effect is 5.3 times stronger in the presence of saclophen but not picrotoxin. We may conclude that melatonin is capable to inhibit the synaptic transmission between parallel fibers and Purkinje cells in rats. Interaction with the benzodiazepine-GABA<sub>A</sub>-receptor complex is a key and with the GABA<sub>B</sub>-receptor is secondary for the melatonin effect.*

Key words: cerebellum, Purkinje cells, melatonin, picrotoxin, saclophen.

---

Редколлегия журнала сердечно поздравляет  
с юбилейными датами сотрудников ИМБП:

*Богомазова Евгения Александровича*

*Вихарева Николая Дмитриевича*

*Высокову Тамару Анатольевну*

*Ильина Евгения Александровича*

*Косареву Ирину Юрьевну*

*Кремнева Евгения Витальевича*

*Куземкина Леонида Петровича*

*Ларину Ирину Михайловну*

*Маслова Валерия Петровича*

Добрые вам пожелания и плодотворного работы!