

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 АН РК (Казахстан)
Gerzer R., M.D., Ph.D., professor (Germany)
Gharib C., Ph.D., professor (France)
Yinghui Li, M.D., Ph.D., professor (China)

2018 Т. 52 № 3

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, 2018
© State Research Center RF – Institute of Biomedical Problems Russian Academy of Sciences, 2018

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

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

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

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

Сдано в набор 17.05.2018
Подписано в печать 28.05.2018
Формат 60 × 84 1/8
Гарнитура Tahoma
Печать офсетная
Усл. печ. л. 9,3
Тираж 200 экз
Заказ № 139

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

Содержание

Contents

Обзоры

Reviews

Яснецов В.В., Яснецов Вик.В. Фармакологическая профилактика и терапия болезни движения у человека и животных

5

Yasnetsov V.V., Yasnetsov Vik.V. Pharmacological prevention and therapy of motion sickness in humans and animals

Поляков А.В., Грязнов Н.А., Сенчик К.Ю., Усов В.М., Мотиенко А.И. Ассистивные возможности роботизированных систем для сердечно-легочной реанимации в условиях лунной базы

13

Polyakov A.V., Gryaznov N.A., Senchik K.Yu., Usov V.M., Motienko A.I. Assistant's capability of robotic systems for cardiopulmonary resuscitation on the lunar base

Экспериментальные и общетеоретические исследования

Experimental and Theoretical Investigations

Юсупова А.К., Швед Д.М., Гущин В.И., Суполкина Н.С., Чекалина А.И. Предварительные результаты космического эксперимента «Контент»

28

Yusupova A.K., Shved D.M., Gushchin V.I., Supolkina N.S., Chekalkina A.I. Preliminary results of space experiment «Content»

Захаров С.Ю., Руденко Е.А., Новикова О.Н., Баранов М.В. Структура заболеваемости летчиков-космонавтов различных возрастных групп после завершения летной деятельности

38

Zakharov S.Yu., Rudenko E.A., Novikova O.N., Baranov M.V. Structure of morbidity among pilot-cosmonauts of varying age-groups after flying career completion

Митрикас В.Г. Моделирование радиационно-защитных характеристик скафандра «Сокол»

42

Mitrikas V.G. Modeling of radiation protection capability of spacesuit «Sokol»

Степанова С.И., Королёва М.В., Нестеров В.Ф., Галичий В.А., Карпова О.И. Полетный мониторинг режима труда и отдыха космонавтов: ретроспективный анализ данных и информационные возможности

48

Stepanova S.I., Koroleva M.V., Nesterov V.F., Galichiy V.A., Karpova O.I. In-flight monitoring of cosmonauts' work and rest cycle: retrospective data analysis and information sources

Иванов И.В., Желтый О.П., Ищенко П.В. Использование метода специальных дыхательных и идеомоторных упражнений для психокоррекции адаптационных нарушений у летного состава

54

Ivanov I.V., Zheltyi O.P., Ishchenko P.V. Use of the method of special breathwork and ideomotor exercises for psycho-correction of adaptation-related disorders in flying personnel

Шешегов П.М., Зинкин В.Н., Сливина Л.П. Авиационный шум как ведущий фактор, влияющий на заболеваемость и профессиональные риски у инженерно-авиационного состава

62

Sheshegov P.M., Zinkin V.N., Slivina L.P. Aviation noise as a major factor contributing to morbidity and occupational risks for aviation maintenance personnel

Глазников Л.А., Сорокина Л.А., Буйнов Л.Г., Плахов Н.Н. Конституциональные особенности статокINETической устойчивости летного состава в условиях дальнего морского похода **69**

Glaznikov L.A., Sorokina L.A., Buynov L.G., Plakhov N.N. Constitutional traits of the statokinetic stability of flying personnel in the conditions of far Navy trip

Ильин В.К., Соловьева З.О., Скедина М.А., Верденская Н.В., Волкова К.В., Иванова И.А. Выбор оптимального набора признаков и оценка качества распознавания микробных объектов по их изображениям **73**

Ilyin V.K., Solovieva Z.O., Skedina M.A., Verdenskaya N.V., Volkova K.V., Ivanova I.A. Choice of an optimal set of signs and evaluation of the quality of microbial objects recognition by their images

ОБЗОРЫ

УДК 611.08:612.82:599.3/.8+615.21:615.216.85

ФАРМАКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОФИЛАКТИКА И ТЕРАПИЯ БОЛЕЗНИ ДВИЖЕНИЯ У ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Яснецов В.В., Яснецов Вик.В.

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

E-mail: vvy@lsn.ru

В обзоре приведены данные экспериментальных и клинических исследований фармакологической профилактики и терапии болезни движения (БД) у человека и животных. На основе анализа данных литературы показано, что в эксперименте на животных перспективным является поиск эффективных вестибулопротекторов среди новых производных 3-гидроксипиридина (например, 10 новых соединений давали противоукачивающий эффект, превосходящий по выраженности скополамин, прометазин и мексидол) и мелатонинергических веществ (в том числе мелатонин, в реализацию действия которого вовлечены мелатониновые MT_1 -, MT_2 - и $ГАМК_A$ -рецепторы). При этом возможно создание как отдельных лекарственных средств, так и их комбинаций. Также проявляют противоукачивающую активность антагонист вазопрессиновых V_{1b} -рецепторов SSR149415 и блокатор NK_1 -рецепторов CP-99994.

Несмотря на все попытки расширить арсенал эффективных противоукачивающих средств и значительное количество проведенных клинических испытаний в этом направлении, в настоящее время для профилактики и лечения БД (в том числе ее космической формы) у человека широко используют только 2 лекарственных препарата – прометазин и скополамин – при традиционных путях введения (внутрь, внутримышечно и трансдермально). Однако для борьбы (в первую очередь профилактики) с БД также перспективным представляется применение указанных препаратов при новом пути введения (интраназально) и других антигистаминных средств – дименгидринат (в виде мукоадгезивной трансбуккальной пленки) и дифенгидрамин (в виде медицинской жевательной резинки), а также использование отечественного лекарственного препарата мексидола (действие которого обусловлено ионными механизмами с вовлечением глутамат- и $ГАМК$ -ергического компонентов).

Ключевые слова: болезнь движения, профилактика и лечение, прометазин, скополамин, мексидол, новые производные 3-гидроксипиридина, мелатонинергические вещества.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 3. С. 5–12.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-3-5-12

Хотя человечество вступило уже в XXI в., болезнью движения (БД), или укачиванием, известной еще в глубокой древности, страдает огромное количество людей, несмотря на достижения современной медицины. Это обусловлено как появлением новых видов наземного транспорта, так и интенсивным развитием мореплавания и авиации, освоением космического пространства и др. Например, по данным зарубежной и отечественной литературы от 40 до 50 % космонавтов и около 70 % астронавтов в той или иной степени страдают космической формой БД [1–9]. В связи с этим профилактика и лечение БД до сих пор остаются одной из важнейших проблем авиакосмической и морской медицины, а также для путешественников.

Несмотря на то что фармакологический метод борьбы с укачиванием и считается наиболее применимым, сегодня арсенал эффективных противоукачивающих средств, используемых у человека, довольно беден, а именно: м-холиноблокатор скополамин, психомоторный стимулятор D-амфетамин, блокатор гистаминовых H_1 -рецепторов прометазин, их комбинации и несколько других лекарств. Действительно, указанные лекарственные препараты действуют непродолжительно, оказывают слабое лечебное действие, вызывая разнообразные побочные эффекты и существенно снижая работоспособность человека-оператора [10–15]. Поэтому изыскание новых эффективных средств профилактики и лечения БД является своевременным и актуальным.

В эксперименте у разных видов животных были испытаны многие вещества различных фармакологических групп. Так, например, было установлено, что у домашних мускусных землероек (*Suncus murinus*; у данного вида животных имеется рвотный рефлекс) высокоселективный блокатор гистаминовых H_1 -рецепторов мепирамин в дозе 50 мг/кг внутривентриально (в/б), проникающий через гематоэнцефалический барьер (ГЭБ), в отличие от цетиризина (10 мг/кг в/б), который через ГЭБ не проходит, самостоятельно или в сочетании с м-холиноблокатором скополамином (10 мг/кг в/б) значительно ослаблял приступы рвоты,

вызванной укачиванием [16]. При этом мепирамин усиливал экспрессию гена раннего реагирования *c-fos* в областях головного мозга, регулирующих рвоту. Авторы говорят о важной роли центральных гистаминовых H_1 -рецепторов в патогенезе БД и противоукачивающем действии антигистаминных средств.

У мышей было показано участие белковой субъединицы $\alpha 9$ н-холинорецепторов в патогенезе БД [17], а также недавно открытого белка свипросина-1 у чувствительных к укачиванию животных [18].

Установлено, что в патогенезе БД у крыс определенную роль играют возрастные и половые различия. Так, например, у молодых (4 мес) крыс-самцов после вращения в крови выявлено значительное повышение уровня адренотропного гормона и кортикостерона, но не норадреналина, адреналина, β -эндорфина и аргинин-вазопрессина. Авторы заключают, что при укачивании возрастные и половые различия могут не коррелировать с содержанием гормонов стресса [19].

Недавно обнаружено, что такой биохимический путь, как Ca^{2+} /кальмодулин-зависимая протеинкиназа II/CREB-белок на уровне поля CA1 гиппокампа грызунов, участвует в развитии БД [20].

Ряд авторов полагают, основываясь на экспериментах на мышах, что вестибулопротекторный эффект м-холиноблокаторов при БД реализуется с участием м-холинорецепторов и мускарин-чувствительных калиевых каналов [21].

Показано, что у кошек-самок универсальный антагонист опиоидов налоксон самостоятельно или в комбинации с агонистом серотониновых $5-HT_{1A}$ -рецепторов DPAT (8-гидрокси-2-(ди-N-пропиламин)тетралин), опиоидным анальгетиком фентанилом и антагонистом NK_1 -рецепторов CP-99994 увеличивал продолжительность рвоты/позывов, а также число рвотных актов [22].

Выявлено, что у крыс вращение (в течение 40 мин с частотой 0,7 Гц) вызывало гипотермию, развитие которой предотвращал блокатор гистаминовых H_1 -рецепторов прометазин (10 мг/кг в/б), но не селективный блокатор серотониновых $5-HT_3$ -рецепторов ондансетрон (2 мг/кг в/б) [23].

Установлено, что у крыс вазопрессинового V_{1b} -рецепторы в вестибулярных ядрах продолговатого мозга принимают участие в патогенезе БД (оцениваемой по тесту отвращения вкуса), а антагонист данных рецепторов SSR149415 (при внутриядерном введении) ослаблял ее проявления. Кроме того, в экспериментах *in vitro* на культуре вестибулярных ядер эмбрионов крысят (16 сут) аргинин-вазопрессин угнетал ток (регистрируемый с помощью флуоресцентного метода) через потенциалзависимые Ca^{2+} -каналы L-типа и каналы NMDA-рецепторного комплекса, а SSR149415 предотвращал этот эффект. Авторы полагают наличие у аргинин-вазопрессина модуляторного действия в отношении

вестибулярных ядер, реализуемого через вазопрессинового V_{1b} -рецепторы [24].

Обнаружено, что у крыс линии Спрег – Доули ганглиоблокатор мекамиламин ослаблял выраженность симптомов БД (оцениваемой по дефекации и обездвиженности) и повышение содержания β -эндорфина в плазме крови у чувствительных к укачиванию животных, а антагонист NK_1 -рецепторов CP-99994 оказывал положительное влияние только в отношении акта дефекации. В то же время блокатор серотониновых $5-HT_4$ -рецепторов RS39604 был неэффективен [25].

У собак показана возможность использования хорошо известного противорвотного средства метоклопрамида (церукал; центральное действие обусловлено блокадой дофаминовых D_2 -рецепторов, а в больших дозах – и серотониновых $5-HT_3$ -рецепторов) в виде назального спрея для купирования тошноты и рвоты, обусловленной БД [26].

Недавно китайскими исследователями было установлено, что у мышей (масса 18–22 г) комплексный растительный препарат, содержащий экстракты имбиря (*Zingiber officinale*), травы пачули и корня соссуреи лопуховидной обладал вестибулопротекторным действием при вращении в течение 40 мин (оцениваемым по шкале, включающей дефекацию, уринацию, пилоэрекцию, выраженность тремора и др.); при этом по выраженности действия он превосходил такое антигистаминное средство, как дименгидринат (0,13 мг/20 г массы) [27].

В плане поиска новых веществ с вестибулопротекторной активностью обращают на себя внимание такие гетероароматические антиоксиданты, как новые производные 3-гидроксипиридина (3-ГП; впервые синтезированные Л.Д. Смирновым, В.И. Кузьминым и С.Я. Скачиловой). Так, в экспериментах на животных было установлено, что многие производные 3-ГП обладают не только мембранопротекторными, антиоксидантными, противогипоксическими, актопротекторными, но и другими ценными фармакологическими свойствами, в том числе вестибулопротекторными (10 соединений из 23 испытанных): СК-119, СК-132, СК-170, СК-171, ИБХФ-27, 2-этил-6-метил-3-гидроксипиридина L-аспарагинат и др. Например, по выраженности противоукачивающего действия ИБХФ-27 превосходил не только отечественный лекарственный препарат мексидол (этилметилгидроксипиридина сукцинат), но и эталонные вестибулопротекторы скополамин и прометазин, а 2-этил-6-метил-3-гидроксипиридина L-аспарагинат превосходил прометазин и не уступал мексидолу [28, 29].

В экспериментах на животных (кошки и кролики) с помощью микроэлектродной техники и метода микроионофореза/пневмомикроинъекции физиологически активных веществ выявлено, что мексидол оказывал прямое влияние (главным образом

угнетающее) на большую часть (61–71 %) нейронов разных структур головного мозга, в том числе медиального вестибулярного ядра (МВЯ – центральное звено вестибуловегетативных рефлексов), заднего вентрального ядра таламуса, гиппокампа, неокортекса и мозжечка, которое на нейронном уровне реализуется путем ингибирования ионных токов через каналы NMDA-рецепторного комплекса (почти у 80 % нейронов) и через ГАМК_A-бензодиазепин-рецепторный комплекс (почти у 60 % клеток). На переживающих срезах продолговатого мозга крысят установлено, что в нейронах МВЯ мексидол (концентрация 5 мМ) угнетал возбуждающий постсинаптический ток на 96 ± 2 %, что ослаблялось специфическим неконкурентным антагонистом NMDA-рецепторного комплекса МК-801. Следовательно, в основе механизма противоукачивающего действия препарата лежат ионные механизмы с вовлечением глутамат- и ГАМК-ергического компонентов, в первую очередь ингибирование ионных токов через каналы NMDA-рецепторного комплекса [28].

В экспериментах на кошках установлено, что новые производные 3-ГП СК-119 и ИБХФ-27 (при пневмомикроинъекции) оказывали прямое влияние на 50 и 84 % нейронов МВЯ соответственно; при этом тормозная реакция на соединения встречалась соответственно в 6 и 25 раз чаще, чем возбуждающая, а угнетающий эффект у ИБХФ-27 наблюдался в 1,9 раза чаще, чем у СК-119. Также обнаружено, что СК-119 и ИБХФ-27 (при пневмомикроинъекции) оказывали прямое влияние на 44 и 81 % клеток Пуркинье кошек соответственно; при этом тормозная реакция на соединения встречалась соответственно в 5,5 и 25 раз чаще, чем возбуждающая, а угнетающий эффект у ИБХФ-27 наблюдался в 2,1 раза чаще, чем у СК-119. На переживающих срезах мозжечка крыс показано, что ИБХФ-27 (в концентрации 5 мМ) угнетал на 95 ± 3 % популяционные ответы клеток Пуркинье, а на фоне действия специфического неконкурентного антагониста NMDA-рецепторного комплекса МК-801 (100 мкМ) депрессирующий эффект соединения практически полностью ослаблялся на 96 ± 2 %. Следовательно, ИБХФ-27 способен почти полностью угнетать синаптическую передачу в системе параллельные волокна мозжечка – клетки Пуркинье крыс, а МК-801 практически полностью ослабляет депрессирующее действие, свидетельствуя об участии в этом главным образом NMDA-рецепторного комплекса [30].

Второе направление изысканий – мелатонинергические вещества, поскольку 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 свойства, предупреждает развитие атеросклероза и новообразований и др. На основе мелатонина созданы лекарственные препараты, например мелаксен, а также его синтетические аналоги, в частности антидепрессант агомелатин (агонист мелатониновых MT₁- и MT₂-рецепторов и антагонист серотониновых 5-HT_{2C}-рецепторов), агонисты рамелтеон, циркадин и др., которые широко применяют в клинической практике. 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 используют в клинике как самостоятельно, так и в комбинации с другими лекарствами [28, 31].

Обнаружено, что у крыс мелатонин (2,5 мг/кг) оказывает выраженное вестибулопротекторное действие, превосходя в этом отношении не только прометазин (50 мг/кг), но и другое мелатонинергическое средство – антидепрессант агомелатин (5 мг/кг). Блокатор мелатониновых MT₁- и MT₂-рецепторов лузиндол (2,5 мг/кг) и специфический антагонист ГАМК_A-рецепторов бикикуллин (1,5 мг/кг) существенно ослабляли эффект мелатонина. Это свидетельствует о вовлечении указанных рецепторов в реализацию его действия [28].

На переживающих срезах продолговатого мозга крысят (метод локальной фиксации потенциала в конфигурации «целая клетка») было выявлено, что в нейронах МВЯ мелатонин (2 мМ) угнетал возбуждающий постсинаптический ток на 29 ± 3 %. При этом лузиндол (0,1 мМ) в значительной степени (на 71 ± 6 %) ослаблял эффект мелатонина (2 мМ), что свидетельствует об участии в этом мелатониновых MT₁- и MT₂-рецепторов [28].

У крыс комбинация мелатонина (2,5 мг/кг) и мексидола (100 мг/кг) давала выраженный противоукачивающий эффект по сравнению с контролем (в 2,6 раза; $p < 0,001$). Другая комбинация – мелатонин (2,5 мг/кг) с прометазин (50 мг/кг) – также давала сходный эффект (в 2,4 раза; $p < 0,001$). По выраженности действия комбинация мелатонина и мексидола превосходила каждый из компонентов – мелатонин в 1,3 раза и мексидол в 1,4 раза. Комбинация мелатонина и прометазина также превосходила и мелатонин, и мексидол в 1,2 и 1,4 раза соответственно. Следовательно, обе комбинации – мелатонина как с мексидолом, так и с прометазин – обладают выраженными вестибулопротекторными свойствами. Мелатонин усиливает противоукачивающий эффект как мексидола, так и прометазина [28].

Из других испытанных фармакологических веществ оказались неэффективными при БД у животных селективный m_3 - и m_5 -холиноблокатор замифенадин и блокатор серотониновых (5-HT_{2A} и 5-HT_{2C}), дофаминовых (D_{1-4}) и м-холинорецепторов (m_{1-5}) антипсихотическое средство оланзапин [14].

В настоящее время в авиационной, космической и морской медицине широко используют блокатор гистаминовых H_1 -рецепторов прометазин (пипольфен; блокирует α -адрено-, м-холино- и дофаминовые рецепторы, угнетает токи NMDA-рецепторного комплекса и прямо блокирует hERG K^+ -каналы), причем он в дозах 25–50 мг (внутрь или внутримышечно) дает разнообразные побочные эффекты (выраженную сонливость, сухость в полости рта, головокружение, расстройства зрения, сна, памяти и др.), нарушающие операторскую деятельность человека, а также снижает артериальное давление и ортостатическую устойчивость, температуру тела и др. [28, 32, 33].

Лечение астронавтов (47 %), как правило, осуществляют следующим образом: сначала им вводят прометазин внутримышечно, а затем используют скополамин (внутрь или трансдермально). Оба препарата для ослабления побочных явлений можно комбинировать с психомоторными стимуляторами, например D-амфетамином [34, 35].

В настоящее время, как известно, кроме прометазина также широко используют м-холиноблокатор скополамин. Так, например, в огромном числе исследований показано, что он эффективен (при разных путях введения) при БД самого различного происхождения, в том числе возникающей у людей при использовании наземного и морского транспорта, авиации, а также при освоении космического пространства и др. [10, 14, 36].

Однако скополамин у многих людей (в частности, как при приеме внутрь, так и при использовании в виде трансдермальной терапевтической системы) также вызывает различные побочные эффекты, в том числе сухость в полости рта, сонливость, брадикардию и др. и даже синдром отмены [37, 38].

Из других лекарственных форм скополамина применяют раствор для подкожного (в дозе 0,2 мг) и интраназального введения (0,4 мг) [38, 39].

Недавно в двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании у человека установлено, что скополамин при интраназальном введении оказывал противоукачивающее действие, не изменяя когнитивные функции и не проявляя заметный седативный эффект. Вместе с тем препарат давал следующие побочные эффекты: головокружение и сухость в полости рта. Основываясь на результатах исследования, авторы заключают, что скополамин в указанной лекарственной форме может быть хорошей альтернативой прометазину при космической форме БД у астронавтов [34]. Также в двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании с

участием 19 практически здоровых мужчин-добровольцев обнаружено, что скополамин в дозе 0,4 мг при интраназальном введении оказывал как центральное, так и периферическое действие на полукружные каналы. Исследователи рекомендуют указанный путь введения скополамина для борьбы с космической формой БД [35].

В литературе имеется сообщение об успешном использовании скополамина в дозах 0,1; 0,2 и 0,4 мг в новой лекарственной форме – интраназальный гель – как альтернатива для эффективного и безопасного купирования симптомов БД [40].

Для уменьшения выраженности побочных эффектов скополамин комбинируют с различными стимуляторами центральной нервной системы (ЦНС), например с модафилилом (в следующем соотношении доз: скополамин 1 мг + модафинил 10 мг/кг), у которого отсутствует вестибулопротекторное действие, однако он может усиливать противоукачивающий эффект скополамина. Также в этой же дозе его сочетают с известным психомоторным стимулятором D-амфетамином (1 мг), обладающим собственной противоукачивающей активностью. Авторы заключают, что указанные комбинации могут быть использованы для профилактики тяжелой формы БД [41, 42].

Из других противоукачивающих средств предлагают использовать меклизина гидрохлорид (блокатор гистаминовых H_1 -рецепторов) в виде прессованных гранул и тонких трансбуккальных пленок, который может быть применен в различных условиях для продолжительного лечения БД, рвоты, головокружения и др. [43, 44].

Установлено, что у человека антигистаминное средство дименгидринат (блокатор гистаминовых H_1 - и м-холинорецепторов в ЦНС) в виде мукоадгезивной трансбуккальной пленки при однократном применении обладает противоукачивающей активностью в течение примерно 7 ч и может применяться при длительных полетах и путешествиях [45].

Антигистаминное средство дифенгидрамин в виде медицинской жевательной резинки на основе белка проламина, содержащегося в зернах пшеницы, рекомендуют для профилактики БД у людей. *In vitro* в тесте растворения продемонстрировано, что в течение 16 мин высвобождается более 90 % действующего вещества из данной лекарственной формы [46].

В рандомизированном двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании с участием 13 практически здоровых мужчин-добровольцев обнаружили, что отечественный лекарственный препарат мексидол (внутрь в дозе 500–625 мг) у 65 % обследуемых оказывал заметное противоукачивающее действие, которое было сопоставимо с эффектом скополамина (внутрь в дозе 0,6 мг; эффект у 61 % людей). Более того, мексидол действовал несколько выраженнее, чем скополамин. Кроме того, мексидол, в отличие от скополамина, практически

не вызывал побочные эффекты (лишь у 13 % лиц небольшая сонливость). Напротив, скополамин у большинства обследуемых (у 87 %) вызывал различные побочные эффекты, в том числе сухость в полости рта, сонливость и брадикардию [28].

Показано, что у человека противорвотное средство гранisetрон (селективный блокатор серотониновых 5-HT_3 -рецепторов) значимо уступало по выраженности противоукачивающего действия эталонному вестибулопротектору скополамину [42].

В исследовании с участием 4 спасателей обнаружено, что циннаризин (блокатор кальциевых каналов L-типа с умеренной антигистаминной активностью) в дозе 18 мг (2–3 раза в сут) ослаблял выраженность морской болезни [13].

В двойном слепом плацебо-контролируемом перекрестном исследовании, в котором участвовало 70 практически здоровых добровольцев обоего пола, выявлено, что витамин С (аскорбиновая кислота) в высокой дозе – 2 г – внутрь за 1 ч до укачивания на море уменьшал выраженность симптомов морской болезни, особенно у мужчин и женщин в возрасте до 27 лет. При этом уровень гистамина и активность диаминооксидазы в крови обследуемых увеличивались только в начале исследования при приеме витамина С. Авторы заключают, что витамин С может использоваться в качестве эффективного средства для профилактики морской болезни, особенно у людей моложе 27 лет [47].

Следует подчеркнуть, что прием внутрь витамина С в дозах более 1 г при длительном применении способен приводить к передозировке, проявляющейся головной болью, повышением возбудимости ЦНС, бессонницей, тошнотой, рвотой, диареей и др. [48].

У детей в открытом клиническом исследовании эффективности и безопасности комбинированного препарата магния с гриффонией простостильной (*Griffonia simplicifolia*; содержит серотонин в высокой концентрации) в дозе 200 и 50 мг соответственно (внутри 2 раза в сут в течение 3 мес), который давали для профилактики развития БД, показано, что количество обследуемых с симптомами БД значимо уменьшалось более чем в 2 раза (с 73 до 36 %) [49].

У людей (8 практически здоровых мужчин-добровольцев в возрасте 25–31 года), которых укачивали в течение 4 сут в медленно вращающейся комнате «Юпитер-2», было установлено, что отечественный комбинированный лекарственный препарат Р-4 (содержит скополамин, сиднокарб, стугерон, пиридоксальфосфат), примененный по редуцированной схеме (первый прием за 1,5–2 ч до начала воздействия, второй – через 2 ч после воздействия), оказался высокоэффективным профилактическим средством, снижающим интенсивность проявления основных симптомов БД, ускоряющим процесс адаптации и увеличивающим его эффективность, у препарата синдром отмены не был выявлен [50].

Таким образом, на основе детального анализа данных литературы можно заключить, что в эксперименте на животных перспективным является поиск эффективных вестибулопротекторов среди новых производных 3-ГП и мелатонинергических веществ. При этом возможно создание как отдельных лекарственных средств, так и их комбинаций. Также обращают на себя внимание следующие фармакологические вещества, проявляющие противоукачивающую активность: антагонист вазопрессориновых V_{1b} -рецепторов SSR149415 и блокатор NK_1 -рецепторов CP-99994.

Несмотря на все попытки расширить арсенал эффективных противоукачивающих средств и значительное количество проведенных клинических испытаний в этом направлении, в настоящее время для профилактики и лечения БД (в том числе ее космической формы) у человека широко используют только 2 лекарственных препарата – прометазин и скополамин при традиционных путях введения (внутри, внутримышечно и трансдермально). Однако для борьбы (в первую очередь профилактики) с БД также перспективным представляется применение указанных препаратов при новом пути введения (интраназально), а также других антигистаминных средств – дименгидринат (в виде мукоадгезивной трансбуккальной пленки) и дифенгидрамин (в виде медицинской жевательной резинки). Также целесообразно использовать отечественный лекарственный препарат мексидол.

Выводы

1. В эксперименте на животных перспективным является поиск эффективных вестибулопротекторов среди новых производных 3-гидроксипиридина и мелатонинергических веществ, возможно создание как отдельных лекарственных средств, так и их комбинаций. Также проявляют противоукачивающую активность следующие фармакологические вещества: антагонист вазопрессориновых V_{1b} -рецепторов SSR149415 и блокатор NK_1 -рецепторов CP-99994.

2. У человека для борьбы с БД (в первую очередь профилактики) перспективными являются хорошо известные противоукачивающие средства блокатор гистаминовых H_1 -рецепторов прометазин и м-холиноблокатор скополамин, применяемые при новом пути введения (интраназально), а также другие антигистаминные средства – дименгидринат (в виде мукоадгезивной трансбуккальной пленки) и дифенгидрамин (в виде медицинской жевательной резинки). Целесообразно использовать отечественный лекарственный препарат мексидол.

Работа частично выполнена в рамках базовой темы РАН № 65.2.

Список литературы

1. Газенко О.Г., Григорьев А.И., Егоров А.Д. Космическая медицина: вчера, сегодня, завтра // Наука в России. 2006. № 4. С. 4–11.
2. Gazenko O.G., Grigoriev A.I., Egorov A.D. Space medicine: yesterday, today, tomorrow // Nauka v Rossii. 2006. № 4. P. 4–11.
3. Samuel O., Tal D. Airsickness: etiology, treatment, and clinical importance: a review // Mil. Med. 2015. V. 180. № 11. P. 1135–1139.
4. Bertolini G., Straumann D. Moving in a moving world: a review on vestibular motion sickness // Front. Neurol. 2016. V. 7. Art. 14.
5. Chen W., Chao J.G., Wang J.K. et al. Subjective vertical conflict theory and space motion sickness // Aerosp. Med. Hum. Perform. 2016. V. 87. № 2. P. 128–136.
6. Diels C., Bos J.E. Self-driving carsickness // Appl. Ergon. 2016. V. 53. Pt. B. P. 374–382.
7. Golding J.F. Motion sickness // Handb. Clin. Neurol. 2016. № 137. P. 371–390.
8. Tal D., Shemy S., Kaminski-Graif G. et al. Vestibular evoked myogenic potentials and motion sickness medications // Clin. Neurophysiol. 2016. V. 127. № 6. P. 2350–2354.
9. Wang J.Q., Qi R.R., Pan L.L. et al. Motion sickness and resting energy expenditure in Chinese male adults // Aerosp. Med. Hum. Perform. 2016. V. 87. № 4. P. 360–366.
10. Zhang L.L., Wang J.Q., Qi R.R. et al. Motion sickness: current knowledge and recent advance // CNS Neurosci. Ther. 2016. V. 22. № 1. P. 15–24.
11. Шашков А.В., Карсанова С.К., Яснецов В.В. и др. Нейроэндокринные факторы в патогенезе болезни движения и защитном действии лекарственных веществ // Эксперим. и клин. фармакология. 2004. Т. 67. № 2. С. 3–7.
12. Shashkov A.V., Karsanova S.K., Yasnetsov V.V. et al. Neuroendocrine factors in pathogenesis of motion sickness and the protective effect of drugs // Eksperimentalnaya i klinicheskaya farmakologiya. 2004. V. 67. № 2. P. 3–7.
13. Григорьев А.И. Вклад космической медицины в здравоохранение // Природа. 2012. № 1. С. 30–36.
14. Grigoriev A.I. Contribution of space medicine to healthcare // Priroda. 2012. № 1. P. 30–36.
15. Golding J.F., Gresty M.A. Pathophysiology and treatment of motion sickness // Curr. Opin. Neurol. 2015. V. 28. № 1. P. 83–88.
16. Lyon R.F., Rush S.C., Roland J.T.Jr. et al. Cinnarizine for sea sickness during a remote Pacific Ocean rescue mission // J. Spec. Oper. Med. 2015. V. 15. № 2. P. 1–6.
17. Singh P., Yoon S.S., Kuo B. Nausea: a review of pathophysiology and therapeutics // Therap. Adv. Gastroenterol. 2016. V. 9. № 1. P. 98–112.
18. Kast J., Yu Y., Seubert C.N. et al. Drugs in space: pharmacokinetics and pharmacodynamics in astronauts // Eur. J. Pharm. Sci. 2017. May 19. pii: S0928-0987(17)30253-1.
19. Tu L., Lu Z., Dieser K. et al. Brain activation by H1 antihistamines challenges conventional view of their mechanism of action in motion sickness: a behavioral, c-Fos and physiological study in *Suncus murinus* (house musk shrew) // Front. Physiol. 2017. № 8:412.
20. Tu L., Poppi L., Rudd J. et al. Alpha-9 nicotinic acetylcholine receptors mediate hypothermic responses elicited by provocative motion in mice // Physiol. Behav. 2017. № 174. P. 114–119.
21. Wang Z.B., Han P., Tong L.C. et al. Low level of swiprosin-1/EFhd2 in vestibular nuclei of spontaneously hypersensitive motion sickness mice // Sci. Rep. 2017. № 7:40986.
22. Zhou W., Wang J., Pan L. et al. Sex and age differences in motion sickness in rats: the correlation with blood hormone responses and neuronal activation in the vestibular and autonomic nuclei // Front. Aging Neurosci. 2017. № 9:29.
23. Wang J., Liu J., Pan L. et al. Storage of passive motion pattern in hippocampal CA1 region depends on CaMKII/CREB signaling pathway in a motion sickness rodent model // Sci. Rep. 2017. № 7:43385.
24. Holt J.C., Jordan P.M., Lysakowski A. et al. Muscarinic acetylcholine receptors and m-currents underlie efferent-mediated slow excitation in calyx-bearing vestibular afferents // J. Neurosci. 2017. V. 37. № 7. P. 1873–1887.
25. Lucot J.B. Effects of naloxone on motion sickness in cats alone and with broad spectrum antiemetics // Auton. Neurosci. 2017. № 202. P. 97–101.
26. Guimaraes D.D., Andrews P.L., Rudd J.A. et al. Ondansetron and promethazine have differential effects on hypothermic responses to lithium chloride administration and to provocative motion in rats // Temperature (Austin). 2015. V. 2. № 4. P. 543–553.
27. Xu L.H., Tang G.R., Yang J.J. et al. AVP modulation of the vestibular nucleus via V1b receptors potentially contributes to the development of motion sickness in rat // Mol. Brain. 2015. № 8:86.
28. Wang J.Q., Qi R.R., Zhou W. et al. Differential gene expression profile in the rat caudal vestibular nucleus is associated with individual differences in motion sickness susceptibility // PLoS One. 2015. V. 10. № 4:e0124203.
29. Li Y., Fan X., Li W. et al. Metoclopramide nasal spray in vitro evaluation and in vivo pharmacokinetic studies in dogs // Pharm. Dev. Technol. 2017. Apr. 26. P. 1–7.
30. Chen Y., Zhang C., Zhang M., Fu X. Three statistical experimental designs for enhancing yield of active compounds from herbal medicines and anti-motion sickness bioactivity // Pharmacogn. Mag. 2015. V. 11. № 43. P. 435–443.
31. Яснецов В.В., Карсанова С.К., Яснецов Вик.В. Новый подход к изысканию вестибулопротекторов // Авиакосм. и экол. мед. 2015. Т. 49. № 1. С. 5–12.
32. Yasnetsov V.V., Karsanova S.K., Yasnetsov Vik.V. A new approach to the search for vestibuloprotectors // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2015. V. 49. № 1. P. 5–12.
33. Яснецов В.В., Цублова Е.Г., Яснецов Вик.В. и др. Исследование вестибуло- и термopротекторных свойств нового актопротектора // Там же. № 5. С. 29–32.

- Yasnetsov V.V., Tsublova E.G., Yasnetsov Vic.V. et al. Investigation of vestibulo- and thermoprotective effects of new actoprotector // *Ibid.* V. 49. № 5. P. 29–32.
30. Яснецов В.В., Карсанова С.К., Яснецов Вик.В. и др. Действие новых производных 3-гидроксипиридина с противоукачивающими свойствами на центральные нейроны // Там же. 2016. Т. 50. № 6. С. 59–63.
- Yasnetsov V.V., Karsanova S.K., Yasnetsov Vik.V. et al. Action of new 3-hydroxypyridine derivatives with anti-naupathia properties on central neurons // *Ibid.* 2016. V. 50. № 6. P. 59–63.
31. 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.
32. Dehghan M.H., Marzuka M. Lyophilized chitosan/xanthan polyelectrolyte complex based mucoadhesive inserts for nasal delivery of promethazine hydrochloride // *Iran J. Pharm. Res.* 2014. V. 13. № 3. P. 769–784.
33. Diaz-Artiles A., Priesol A.J., Clark T.K. et al. The impact of oral promethazine on human whole-body motion perceptual thresholds // *J. Assoc. Res. Otolaryngol.* 2017. V. 18. № 4. P. 581–590.
34. Weerts A.P., Pattyn N., Putcha L. et al. Restricted sedation and absence of cognitive impairments after administration of intranasal scopolamine // *J. Psychopharmacol.* 2015. V. 29. № 12. P. 1231–1235.
35. Weerts A.P., Putcha L., Hoag S.W. et al. Intranasal scopolamine affects the semicircular canals centrally and peripherally // *J. Appl. Physiol.* 2015. V. 119. № 3. P. 213–218.
36. Golding J.F., Paillard A.C., Normand H. et al. Prevalence, predictors, and prevention of motion sickness in zero-G parabolic flights // *Aerosp. Med. Hum. Perform.* 2017. V. 88. № 1. P. 3–9.
37. Manno M., Di Renzo G., Bianco P. et al. Unique scopolamine withdrawal syndrome after standard transdermal use // *Clin. Neuropharmacol.* 2015. V. 38. № 5. P. 204–205.
38. Bestaven E., Kambrun C., Guehl D. et al. The influence of scopolamine on motor control and attentional processes // *Peer J.* 2016. № 4:e2008.
39. Simmons R.G., Phillips J.B., Lojewski R.A. et al. The efficacy of low-dose intranasal scopolamine for motion sickness // *Aviat. Space Environ. Med.* 2010. V. 81. № 4. P. 405–412.
40. Wu L., Boyd J.L., Daniels V. et al. Dose escalation pharmacokinetics of intranasal scopolamine gel formulation // *J. Clin. Pharmacol.* 2015. V. 55. № 2. P. 195–203.
41. Makowski A.L., Lindgren K., Locke J.P. Visual side effects of scopolamine/dextroamphetamine among parabolic fliers // *Aviat. Space Environ. Med.* 2011. V. 82. № 7. P. 683–688.
42. Zhang L.L., Liu H.Q., Yu X.H. et al. The combination of scopolamine and psychostimulants for the prevention of severe motion sickness // *CNS Neurosci. Ther.* 2016. V. 22. № 8. P. 715–722.
43. Zhao Y., Quan P., Fang L. Preparation of an oral thin film containing meclizine hydrochloride: in vitro and in vivo evaluation // *Int. J. Pharm.* 2015. V. 496. № 2. P. 314–322.
44. Qazi F., Shoaib M.H., Yousuf R.I. et al. Lipids bearing extruded-spheronized pellets for extended release of poorly soluble antiemetic agent-Mecizine HCl // *Lipids Health Dis.* 2017. V. 16. № 1:75.
45. Yildiz Pekoz A., Sedef Erdal M., Okyar A. et al. Preparation and in-vivo evaluation of dimenhydrinate buccal mucoadhesive films with enhanced bioavailability // *Drug Dev. Ind. Pharm.* 2016. V. 42. № 6. P. 916–925.
46. Shete R.B., Muniswamy V.J., Pandit A.P., Khandelwal K.R. Formulation of eco-friendly medicated chewing gum to prevent motion sickness // *AAPS Pharm. Sci. Tech.* 2015. V. 16. № 5. P. 1041–1050.
47. Jarisch R., Weyer D., Ehlert E. Impact of oral vitamin C on histamine levels and seasickness // *J. Vestib. Res.* 2014. V. 24. № 4. P. 281–288.
48. Государственный реестр лекарственных средств. [Электронный ресурс]. URL: <http://grls.rosminzdrav.ru/default.aspx> (дата обращения 11.09.2017).
- The state register of medicines. [Electronic resource]. URL: <http://grls.rosminzdrav.ru/default.aspx> (application date 11.09.2017).
49. Esposito M., Precenzano F., Sorrentino M. et al. A medical food formulation of Griffonia simplicifolia / magnesium for childhood periodic syndrome therapy: an open-label study on motion sickness // *J. Med. Food.* 2015. V. 18. № 8. P. 916–920.
50. Орлов О.И. Оценка влияния фармакологических средств профилактики болезни движения на адаптацию в модельных условиях с длительным вращением // *Авиакосм. и экол. мед.* 2007. Т. 41. № 6. С. 24–28.
- Orlov O.I. Evaluation of the effect of anti-motion sickness pharmaceuticals on adaptation to the model conditions of long-term rotation // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2007. V. 41. № 6. P. 24–28.

Поступила 27.09.2017

PHARMACOLOGICAL PREVENTION AND THERAPY OF MOTION SICKNESS IN HUMANS AND ANIMALS

Yasnetsov V.V., Yasnetsov Vik.V.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 3. P. 5–12

The review presents the data of experimental and clinical investigations in pharmacological prevention and therapy of motion sickness (MS) in humans and animals. Analysis of literature showed that experiments with animals

hold promise for choosing the best vestibular protectors among new 3-hydroxypyridine derivatives (for instance, 10 new compounds exhibited an anti-MS effect superior to scopolamine, promethazinum and mexidol) and melatonin-ergic substances including melatonin activating the MT_1 -, MT_2 - and $GABA_A$ -receptors. The 3-HOP derivatives and melatonin-ergic substances can exist both as single-agent, so multi-agent drugs.

The anti-MS potential is demonstrated by SSR149415, a V_{1b} -receptors antagonist and also CP-99994, an NK_1 -receptors blocker.

Despite all efforts to increase the arsenal of anti-MS agents and copious clinical investigations, to date MS (space

MS included) prevention and therapy in humans rely on only 2 medical preparations – promethazinum and scopolamine in the form of drugs or intramuscular or transdermal injections. However, in future MS control, prevention in the first place, may become possible using nasal forms of these preparations, as well as administration of some other antihistamines such as dimenhydrinate in the form of mucosa-adhesive patch, diphenhydraminum in the form of chewing gum, and mexidol that acts through ion pathways with involvement of glutamate- and GABA-ergic components.

Key words: motion sickness, prevention and therapy, promethazinum, scopolamine, mexidol, new 3-hydroxypyridine derivatives, melatonin-ergic substances.

УДК 356.33; 359.6; 61:351.86; 614.8; 615.47

АССИСТИВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЛУННОЙ БАЗЫ

Поляков А.В.¹, Грязнов Н.А.², Сенчик К.Ю.², Усов В.М.¹, Мотиенко А.И.³

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

²Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики, Санкт-Петербург

³Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

E-mail: apolyakov@imbpr.ru

Обзор посвящен современным роботизированным системам, перспективным для использования в медицинских нештатных ситуациях (НшС) в космических полетах для поддержания жизненно важных функций и сохранения жизни космонавта, в первую очередь, применительно к автономным условиям лунных экспедиций. Для купирования медицинских НшС, приводящих к острому развитию угрожающих жизни космонавта состояний, первостепенное значение будут иметь 2 составляющие: 1) готовность космонавтов к оказанию неотложной медицинской помощи и владение ими приемами сердечно-легочной реанимации (СЛР); 2) наличие предназначенных для целей реанимации вспомогательных (роботизированных) устройств, которые позволят (на уровне знаний среднего медицинского персонала) обеспечить в условиях лунной базы восстановление витальных функций при остановке сердечной деятельности. В обзоре рассматриваются мехатронные системы кардиокомпрессии для проведения базовой СЛР при автономной работе экипажа в условиях лунной базы. Для расширенной СЛР рассматриваются механические устройства для внутрикостного введения лекарственных препаратов в дополнение к реанимационному оборудованию, наличие которого желательно в составе бортового медицинского имущества (аппараты для искусственной вентиляции легких и дефибрилляции).

Кроме того, предполагается, что практические навыки проведения СЛР будут поддерживаться у космонавтов использованием вспомогательных обучающих устройств типа бортовых роботов-симуляторов СЛР.

Ключевые слова: лунные базы, сердечно-легочная реанимация (СЛР), роботизированные устройства, мехатронные кардиокомпрессоры, устройства внутрикостного введения лечебных препаратов, роботы-симуляторы СЛР.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 3. С. 13–27.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-3-13-27

В настоящее время в области экстремальной и медицинской робототехники интенсивно развиваются мехатронные технологии и автоматизированные системы для выполнения отдельных манипуляций

по жизненным показаниям. Их появление было инициировано потребностями военной медицины, медицины катастроф и обеспечения безопасности жизнедеятельности человека в условиях опасных производств. В дальнейшем рамки применения таких устройств значительно расширились, в частности, новые ниши их применения были выявлены в аспектах медицинского обеспечения лиц опасных профессий авиационно-космической отрасли при организации поиска и спасения при нештатных приземлениях летательных аппаратов. В данной работе предпринята попытка описания состава и характеристик робототехнических устройств, пригодных для реанимационных мероприятий и сохранения витальных функций человека, в объеме «первой помощи» [1], но с учетом специфики условий пребывания человека на Луне и ожидаемого уровня медицинской подготовки членов экипажа [2].

Актуальность оснащения космонавтов робототехническими системами (РТС) при автономном пребывании на Луне не вызывает сомнения, поскольку возможные в данных экстремальных условиях медицинские нештатные ситуации (НшС) могут иметь ряд неблагоприятных и усложняющих проведение неотложных медицинских мероприятий особенностей.

В первую очередь необходимо отметить наиболее вероятную ситуацию пребывания на лунной базе малочисленного экипажа (в некоторых вариантах предлагаемых сценариев, не более 2 или 3 человек), в то время как в наземных условиях лучшие результаты проведения реанимационных мероприятий дает участие большего числа спасателей.

Второе обстоятельство – состав необходимых приборов и оборудования для проведения реанимации. Предполагаемый перечень медицинского оборудования и медицинских упаковок в лунном спускаемом аппарате и в лунных базах, скорее всего, будет незначительно отличаться от такового на Международной космической станции (МКС), то есть будет в минимальной комплектации, хотя

сегодня на российском сегменте (РС) МКС рассматриваются перспективы комплектования медицинских укладок аппаратами искусственной вентиляции легких (ИВЛ), дефибрилляторами, УЗИ и др.

Многие виды мероприятий при проведении реанимации предполагают затраты значительных физических усилий на протяжении достаточно длительного времени, в то время как есть основания предполагать возможное ухудшение физического статуса космонавтов после перелетов к Луне. Это обстоятельство приводит к идее использования автоматизированных и роботизированных средств, которые не только несут ассистивную функцию, но и могут заменить человека при длительных, но относительно простых мероприятиях типа компрессии грудной клетки при наружном массаже сердца.

В целом имеется обширная литература по проблеме рисков здоровью в пилотируемых полетах [2–6].

Современная авиакосмическая медицина имеет большой опыт снижения рисков здоровью. Это достигается построением стройной системы медицинского отбора космонавтов и мониторинга их здоровья в процессе подготовки применением средств профилактики неблагоприятных эффектов, связанных с факторами космического полета (КП), средств защиты организма и др. Тем не менее остаются общемедицинские проблемы возникновения критических нарушений состояния здоровья, которые могут привести к необратимым последствиям, например, остановка сердечной деятельности, в том числе у практически здорового человека в обыденной жизни [7, 8]. В экстремальных условиях жизнедеятельности внезапное развитие таких тяжелых нарушений не исключено и у космонавтов, хотя реальная практика пилотируемых КП примеров таких случаев не знает.

К сожалению, подобные нарушения могут привести к острой сердечной недостаточности, а если своевременно не проведены неотложные медицинские мероприятия – к летальному исходу.

Причины остановки сердца по механизму развития связаны с резким нарушением его функциональных возможностей, особенно возбудимости, автоматизма и проводимости.

Сердечная деятельность может прекратиться 2 путями:

- асистолией (у 5 % пациентов);
- фибрилляцией (в 90 % случаев).

Особенно опасна асистолия на фоне:

- общей кислородной недостаточности (гипоксии);
- повышенного содержания углекислоты в крови;
- смещения кислотно-щелочного равновесия в сторону ацидоза;
- измененного баланса электролитов (рост внеклеточного калия, снижение кальция).

Эти процессы, как по отдельности, так и вместе взятые, негативно воздействуют на свойства миокарда.

Среди причин сердечной недостаточности принято выделять непосредственно сердечные (кардиальные) и внешние (экстракардиальные).

С определенной степенью уверенности можно утверждать, что для тщательно отобранных лиц опасных профессий, которые находятся под постоянным медицинским наблюдением, риски остановки сердечной деятельности, которые относятся к «кардиальным факторам», не будут играть заметной роли, хотя в литературе отмечаются изменения сердечной мышцы, возникающие вследствие невосприимчивости и воздействия радиационного фактора, но они, как правило, входят в группу «отдаленных последствий» влияния факторов КП [9–11].

Применительно к экстремальным условиям жизнедеятельности можно выделить ряд «экстракардиальных факторов», при которых риск остановки сердца существенно возрастает [8, 12].

К экстракардиальным факторам относят следующие:

- кислородная недостаточность (гипоксия), в том числе вызванная асфиксией;
- пневмоторакс (появление воздуха между листками плевры, одностороннее сдавливание легкого);
- потеря организмом значительного объема жидкости (гиповолемия) при травме, шоке, непрекращающейся рвоте и диарее;
- метаболические изменения с отклонением в сторону ацидоза;
- переохлаждение организма (гипотермия) ниже 28°;
- острая гиперкальциемия;
- тяжелые аллергические реакции.

Таким образом, все состояния, сопровождающиеся кислородной недостаточностью, относятся к экстракардиальным факторам. К этим же состояниям приводят любые экзогенные отравления.

Кроме того, следует упомянуть обструкции дыхательных путей или нарушение их проходимости, развитие острой дыхательной недостаточности.

Можно полагать, что в большей или меньшей мере эти причины необходимо иметь в виду при характеристике потенциальных медицинских НшС, с которыми могут встретиться космонавты при освоении Луны.

Если обратиться к руководствам для медицинских специалистов, то имеется достаточно много работ, в которых приводятся практические рекомендации по оказанию первой помощи, направленной на восстановление дыхания, сердечного ритма и кровообращения [13, 14]. Среди этих рекомендаций имеются такие, которые может выполнить как профессиональный спасатель, так и человек

с начальным уровнем медицинской подготовки. Комплекс этих мероприятий в первую очередь должен включать проведение базовой сердечно-легочной реанимации (СЛР) при остановке сердечной деятельности [15].

Из патофизиологии известно, что в головном мозге человека, оставшемся без кровоснабжения в течение 6–9 мин (в зависимости от внешних условий), развиваются необратимые изменения. Только при глубоком охлаждении организма это время может возрасти, но не более чем вдвое. Согласно работе [16], до 90 % тяжело пострадавших могли бы остаться в живых, если бы адекватная помощь им была оказана своевременно.

Только 2 мероприятия СЛР – ранние компрессии грудной клетки (непрямой массаж сердца) и дефибрилляция – увеличивают выживаемость больных с остановкой кровообращения (ОК). Раннее начало компрессий грудной клетки увеличивает выживаемость больных в 2–3 раза. По данным работы [13] компрессии грудной клетки и дефибрилляция, выполненные в течение 3–5 мин от начала ОК, обеспечивают выживаемость 49–75 %. Каждая минута промедления с дефибрилляцией уменьшает вероятность выживания на 10–15 %.

Таким образом, независимо от причины ОК, реанимационные мероприятия должны быть начаты в пределах 5 мин от начала ОК во избежание развития необратимых изменений в головном мозге.

Нормативные документы в РФ дают следующее определение: реанимация – это система мероприятий, направленных на восстановление или временное замещение утраченных или грубо нарушенных функций организма с помощью специальных реанимационных мероприятий (компрессии грудной клетки, искусственное дыхание, дефибрилляция и др.) [17].

Компрессии грудной клетки позволяют поддерживать малый, но достаточно эффективный кровоток в сосудах сердца и головного мозга. При проведении СЛР мозговой кровоток должен быть не менее 50 % от нормы для восстановления сознания и не менее 20 % от нормы для поддержания жизнедеятельности клеток. Имеются многочисленные руководства, строго регламентирующие порядок выполнения СЛР и необходимую частоту надавливаний (толчков) и величину экскурсий грудной клетки при непрямом (наружном) массаже сердца.

Обеспечить правильное выполнение СЛР – непростая задача даже для медицинского персонала, и тем более с большими методическими и физическими трудностями может встретиться человек, который не имеет медицинского образования и практики реанимационных мероприятий [18].

Следовательно, крайне важен выбор инструмента, который может выступать в качестве ассистивных устройств СЛР. Достаточно очевидно, что

для космонавтов на лунных базах задача выполнения неотложных медицинских мероприятий при СЛР должна быть решена посредством расширения сферы применения автоматизированных и роботизированных устройств и систем. При этом сегодня необходимо не только выделить именно тот состав подобных устройств (наземных прототипов), который испытан и доказал свою надежность и работоспособность при проведении неотложных мероприятий по сохранению жизни человеку, у которого наступило критическое ухудшение состояния здоровья, но и учитывать специальные требования по максимальной автоматизации их применения и простоте использования. В расширенном варианте медико-технических требований необходимо предусматривать средства информационной поддержки в ходе применения такого рода устройств. Поддержка может быть как «встроена» в работу применяемой при СЛР роботизированной системы, так и быть «внешней» за счет использования многомодального интерфейса интеллектуального робота-помощника экипажа [2, 19, 20].

Не следует ожидать, что в большом числе экспедиций на Луну в составе экипажа будут квалифицированные медицинские специалисты, а поэтому при включении в рассмотрение НшС, требующих СЛР, целесообразно рассчитывать на уровень знаний и навыков космонавтов, ориентируясь на подготовленность среднего медицинского персонала (фельдшер, медбрат и т.п.). Предполагается, что специально выделенный и прошедший дополнительную медицинскую подготовку член экипажа («медицинский офицер») сможет выполнить только достаточно простые медицинские приемы и мероприятия в объеме неотложной помощи, поскольку он будет иметь в наличии ограниченный перечень медицинского оснащения и небольшой объем медицинской подготовки к парированию наиболее вероятных проблем со здоровьем. Что касается полетов на околоземных орбитах, то ситуация несколько проще, так как имеется возможность экстренного прекращения полета по медицинским показаниям и оперативной доставки нуждающегося в большем объеме медицинской помощи на Землю. Транспортный пилотируемый корабль (ТПК) типа «Союз» используется при этом как корабль-спасатель [21, 22]. Срочное преждевременное возвращение спускаемого аппарата ТПК с орбиты искусственного спутника Земли (ИСЗ) в принципе возможно с любого витка полета, но оптимально, если посадка будет осуществлена на основной или запасной полигон посадки [23]. Решение о прекращении полета принимает Государственная комиссия по данным Главной оперативной группы управления (ГОГУ), либо космонавты с уведомлением ГОГУ. Экипаж, выполняющий свою деятельность на лунной базе, такой возможности иметь не будет.

Если рассчитывать, что медицинская помощь потребует купирования более широкого перечня медицинских НшС, то следует оснастить экипаж дополнительным медицинским оборудованием и провести соответствующую подготовку. Эффективность оказания медпомощи определяется не только наличием оборудования, но и навыками и умениями его использования. В связи с этим в длительных полетах потребуются проведение мероприятий, направленных на поддержание у экипажа навыков выполнения медицинских процедур, в том числе с использованием бортовых тренажеров (медицинских роботов-симуляторов) [2, 24–26].

В последние годы наблюдается прогресс в области разработки новой медицинской техники, активно создаются приборы и аппараты, с большой долей автоматизации и роботизации. Использование подобного оборудования перспективно для повышения эффективности всей системы медицинского обеспечения пилотируемых КП, в частности, и для совершенствования способов оказания медицинской помощи в полетах за пределы околоземной орбиты.

Основные направления применения РТС при оказании первой помощи

Следуя авторам работ [1, 15, 27], можно сказать, что первая помощь включает в себя комплекс неотложных мероприятий, направленных на сохранение жизни и здоровья пострадавшего, и проводится непосредственно в месте развития медицинской НшС или вблизи от него.

Первая помощь при ОК может быть оказана лицами, владеющими приемами первой помощи как специальными медицинскими (табельными) средствами, так и с использованием подручных средств. Именно при оказании первой помощи могут быть наиболее полезны те виды РТС, которые способны выполнять процедуры по спасению и реанимации лиц с критическими нарушениями жизненно важных функций, снижая тем самым нагрузку на других членов экипажа.

Состав и характеристики средств для неотложных медицинских мероприятий СЛР представлены в работах [28–30].

Следуя выше цитированным источникам, в качестве первоочередного мероприятия первой помощи целесообразно выделить проведение базовой СЛР, направленной на восстановление дыхания и кровообращения. Для решения этой задачи целесообразно использование медицинских роботизированных средств, assisting космонавту при проведении СЛР для «восстановления и сохранения жизненно важных (витальных) функций» при медицинской НшС. При этом для некоторых мероприятий, например восстановления проходимости дыхательных путей, остановки кровотечения, противошоковой

терапии, применение роботизированных средств до сих пор существенно ограничено ввиду высокой значимости для жизни пациента ошибочных действий при выполнении этих мероприятий.

В данной работе не предусматривается анализ существующих средств и процедур для искусственной вентиляции легких (это предмет самостоятельной работы), и лишь в ограниченном объеме упоминаются вопросы использования аппаратных средств дефибрилляции и устройств для введения фармакологических препаратов при СЛР [31–37].

Для проведения реанимационных мероприятий с использованием фармакологических препаратов и дефибрилляции сегодня имеются аппаратные средства, функционирующие в автоматических режимах, что значительно облегчает их практическое использование [38, 39].

Далее по тексту преимущественно рассматриваются перспективные образцы роботизированных комплексов для проведения базовой СЛР.

Роботизированные комплексы для восстановления жизненно важных функций организма

В качестве ключевых слов данного подраздела выступают понятия «сердечно-легочная реанимация» (СЛР), «непрямой массаж сердца» (НМС), «искусственная вентиляция легких», «восстановление сердечной деятельности после ее остановки», «восстановление проходимости дыхательных путей».

Современное состояние робототехники не позволяет сегодня в полном объеме в автоматическом режиме выполнять функции купирования угрожающих жизни пострадавшего состояний медицинскими РТС, но они могут быть полезны при выполнении СЛР в качестве вспомогательных (ассистивных) устройств. Одновременно можно определенно утверждать, что при правильном применении РТС при проведении мероприятий базовой СЛР можно избежать ошибок, характерных для недостаточно подготовленных людей, в том числе из числа среднего медицинского персонала [40].

Как известно [41], комплекс базовой СЛР включает в себя компрессию грудной клетки пациента с определенной частотой (для взрослого человека – 100 циклов/мин) для восстановления и поддержания кровоснабжения и проведение искусственной вентиляции легких (ИВЛ).

Для качественного выполнения СЛР компрессионные сжатия должны выполняться: с надлежащей частотой и амплитудой (глубиной вдавливания), полным расправлением грудной клетки после каждого сжатия, минимальными интервалами между сжатиями, отсутствием избыточной вентиляции легких.

Оптимальное время начала проведения СЛР составляет 5–6 мин после остановки сердечной деятельности, ориентировочное время реанимационных мероприятий – 30 мин – практический предел,



Рис. 1. Аппарат для механической компрессии грудной клетки AutoPulse (ZOLL Medical Corporation) в различных модификациях



Рис. 2. Аппарат для механической компрессии грудной клетки LUCAS (Jolife AB / Physio-Control Lund, Швеция)

когда сохраняется возможность хорошего неврологического исхода у нормотермичного пациента [42, 43].

Несмотря на то, что безаппаратные методы СЛР широко применяются в практике оказания экстренной помощи пострадавшим, они имеют существенный недостаток: невозможность осуществлять эффективную компрессию грудной клетки реаниматором (например, спасателем при чрезвычайных ситуациях) ввиду его быстрого утомления (эффективная длительность работы по компрессии грудной клетки составляет примерно 3–5 мин).

Автоматизированные устройства для грудных компрессий, которые постепенно включаются в стандарт оказания первой помощи, представляют собой важное дополнение к ручной СЛР. Поиск среди имеющихся зарубежных и отечественных разработок аппаратов механической компрессии грудной клетки человека при СЛР и интегрированных средств контроля эффективности их функционирования выявляет конкуренцию зарубежных аппаратов: ZOLL AutoPulse (ZOLL Medical Corporation, США) (рис. 1) и LUCAS (Jolife AB / Physio-Control Lund, Швеция) (рис. 2) [44, 45].

В литературе имеются сравнительные данные этих аппаратов [30, 46–49].

1. LUCAS имеет следующие особенности и характеристики.

Система компрессии грудной клетки LUCAS предназначена для обеспечения непрерывных компрессий грудной клетки с постоянными частотой и глубиной продавливания грудины. Они производятся в 2 вариантах: пневматический LUCAS и электрический LUCAS 2.

Первой была разработана система LUCAS, которая работает от переносного пневмокомпрессора. Такой пневмокомпрессор обладает большой массой, что является неудобным для транспортировки. Более современный кардиокомпрессор LUCAS 2 работает от встроенной модульной аккумуляторной

батареи, которую можно вынимать из кардиокомпрессора и заряжать отдельно от него.

Система LUCAS показала эффективность и безопасность, сравнимые с ручным непрямым массажем сердца, а конструктивные особенности системы не препятствуют проведению других мероприятий по поддержанию жизни пациента при проведении СЛР: дефибрилляции и искусственной вентиляции легких. Система LUCAS проницаема для рентгеновских лучей.

Система LUCAS 2 гарантирует высокую частоту компрессий (100 компрессий в мин) и оптимальную глубину вдавливания грудной клетки (4–5 см). При этом LUCAS 2 обладает небольшим весом, компактностью и эргонометричностью дизайна. Имеется модификация LUCAS 2, которую можно переносить в сумке-рюкзаке и быстро устанавливать на пострадавшего, независимо от места его расположения: на земле, на носилках, на кровати. Во время установки прерывание компрессии не превышает 20 с.

Обычное время работы LUCAS 2 при полном заряде аккумулятора составляет 45 мин. При наличии полностью заряженного запасного аккумулятора время работы может продлеваться до 90 мин; кроме того, прибор может непрерывно работать от внешнего источника питания столько времени, сколько необходимо для пациента.

К недостаткам можно отнести отсутствие у системы LUCAS силомоментного очувствления. Это важный фактор, так как необходимо не допустить переломов ребер при проведении СЛР. Менее очевидным, но значительным недостатком аппарата LUCAS является жесткое требование к высокой точности позиционирования поршня на груди. Небольшое смещение поршня относительно правильного его положения на груди вызывает снижение качества СЛР и может привести к травмам грудной клетки.

В данном изделии предусмотрена только стерильная компрессия, т.е. LUCAS, по существу,

обеспечивает механическую замену ручной СЛР. Как и в известном приборе Thumper® (Michigan Instruments), в нем используется металлический поршень для «стернальных» компрессий, причем усилие сконцентрировано на очень ограниченной зоне грудной клетки пациента. Требуется ручная регулировка поршня для достижения глубины компрессии 3,8–5 см; при этом отсутствует подтверждение правильного наложения. Согласно инструкциям по эксплуатации, при перемещении пациента LUCAS необходимо отключать. Отключение необходимо и в том случае, если условия не позволяют грудной клетке занимать горизонтальное положение.

Минимизация пауз приводит к увеличению доли компрессий грудной клетки от общего времени проведения СЛР.

II. AutoPulse имеет следующие особенности и характеристики.

Система ZOLL AutoPulse обеспечивает непрерывные компрессии на протяжении продолжительного времени при проведении СЛР и возможность продолжать компрессии во время других реанимационных мероприятий или транспортировки; не требует прерывания СЛР для осуществления дефибрилляции; обеспечивает щадящую продолжительную СЛР для пациентов с сильной гипотермией до восстановления нормальной температуры тела и для пациентов с интоксикацией до завершения детоксикации.

В AutoPulse предусмотрено сочетание стеральной и торакальной компрессий. С помощью запатентованного ремня распределения нагрузки LifeBand® достигается уникальное сочетание «торакальных» и «сердечных» компрессий с распределением усилия по более широкой площади поверхности. Выполняется автоматическое «измерение» пациента и автоматический расчет параметров пациента: размера, формы и сопротивления грудной клетки индивидуально для каждого отдельного пациента. Затем на этой основе производится расчет усилия, необходимого для достижения сдавливания грудной клетки на 20 % в передне-заднем направлении.

AutoPulse может работать при наклоне в 45° в любом направлении, обеспечивая действительно непрерывные компрессии во время любых перемещений пациента, включая эвакуацию из помещения (особенно при перемещении по лестнице, в лифте, на носилках, в кресле и т.д.) и транспортировку.

В то же время система ZOLL AutoPulse имеет серьезные недостатки. В первую очередь следует отметить недостаточно высокую частоту компрессий грудной клетки – 80 компрессий в мин, что не соответствует современным требованиям к СЛР.

В результате сравнительного анализа существующих автоматических средств компрессии грудной клетки и конечностей было выявлено, что наиболее

эффективным автоматическим устройством СЛР на сегодняшний день является устройство LUCAS 2 [47].

Совершенствование автоматических средств компрессии грудной клетки лежит в плоскости создания недорогого отечественного кардиокомпрессора на основе современных мехатронных технологий, обладающего удовлетворительными массогабаритными и энергетическими характеристиками. Кроме того, актуально применение устройств для (автоматической) оценки адекватности СЛР посредством автоматического контроля параметров компрессии грудной клетки человека при СЛР [47, 50].

В работах [47, 51] рассмотрены отечественные интеллектуальные «Мехатронные аппараты для наружной компрессии» (МНК) грудной клетки, которые предназначены для использования в качестве замены ручного массажа сердца при выполнении процедуры СЛР, и в том числе в экстремальных условиях.

В ходе отечественной разработки научно-методических основ построения интегрированной системы контроля эффективности СЛР выявлено решающее значение корректировки параметров компрессии в процессе СЛР в зависимости от показаний неинвазивных датчиков давления, поскольку основным недостатком подобных приборов является отсутствие средств контроля состояния пациента и эффективности проведения СЛР.

Для повышения эффективности процесса СЛР в работе [51] предлагается использовать МНК, осуществляющий не только компрессию и декомпрессию грудной клетки, но и контроль процесса реанимации путем автоматического управления параметрами реанимационной процедуры. Предложенный подход заключается в создании МНК, включающего в себя 2 петли обратной связи, в том числе с организмом пациента. К параметрам компрессии грудной клетки, которые подлежат контролю, относятся частоту компрессии (в диапазоне 80–120 в мин) и диапазон перемещения штока привода исполнительного устройства (до 50 мм) при развиваемом усилии сжатия грудной клетки до 500 Н. Перечисленные параметры составляют первую петлю обратной связи системы очувствления МНК.

Оснащение МНК комплексом контроля указанных параметров при наличии текущей информации о состоянии пациента, которое оценивается по артериальному давлению, измеряемому непрямым методом (по Короткову), образует второй контур системы управления устройством. Это позволяет оперативно реагировать на динамику изменения состояния пациента путем регулирования частоты и глубины компрессии, добиваясь в режиме реального времени максимального интегрального потока крови за цикл «компрессия – декомпрессия» при превышении минимально необходимого кровяного давления в цикле.

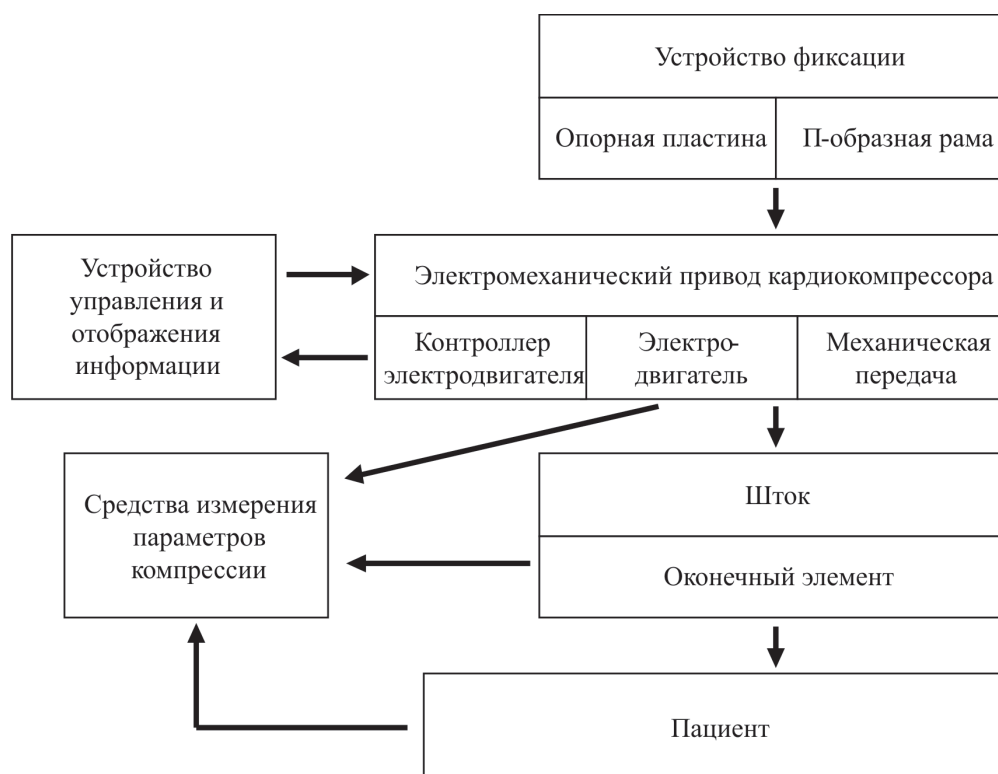


Рис. 3. Схема функционирования МНК

В ходе работы МНК с контуром биообратной связи (здесь правомерно говорить о построении биотехнической системы) осуществляется контроль параметров компрессии грудной клетки и параметров состояния пациента, обработка получаемой информации и выработка команд на плавное изменение параметров компрессии в сторону оптимальной частоты следования циклов «компрессия – декомпрессия» и диапазона перемещения штока, на изменение длительности периодов компрессии и декомпрессии в цикле, изменение скорости движения штока. При этом оценивается динамика состояния пациента и принимается решение о поддержании некоторой комбинации параметров компрессии или ее изменении.

Схема функционирования МНК представлена на рис. 3.

Реализация двухконтурной системы очувствления позволяет добиться повышения эффективности проведения процедуры СЛР по сравнению с существующими механическими кардиокompрессорами, не говоря уже о ручной СЛР. Система очувствления МНК выступает в роли экспертной системы, помогая пользователю определять эффективность СЛР. Одновременно контроль параметров компрессии грудной клетки позволяет свести практически к нулю травматизм, связанный с переломами ребер или повреждениями реберных суставов, поскольку в управляющих алгоритмах предусмотрены

ограничения на диапазон перемещения штока и силу компрессии, исходя из анатомических характеристик человека.

Некоторые общие проблемы применения мехатронных устройств в медицине обсуждаются также в работах [28–30, 52–57].

Концепция ранней дефибрилляции с использованием «общедоступного» дефибриллятора при проведении СЛР

Среди специалистов медицины критических состояний все большую популярность приобретает концепция ранней дефибрилляции с использованием «общедоступного» дефибриллятора. Согласно этой концепции, должны быть «общедоступными» автоматические наружные дефибрилляторы (АНД), позволяющие неквалифицированному пользователю оказать первую помощь больному с остановкой сердца до приезда бригады медиков. Этими приборами оснащаются экстренные службы. Немецкая компания ZOLL создала «общедоступный» автоматический дефибриллятор AED Plus [58].

Прибор может «провести» пользователя (включая лиц без предварительного обучения) через весь процесс спасения жизни – от оценки жизнеспособности пострадавшего до СЛР и дефибрилляции, в частности:

- поможет правильно подготовить пациента к реанимации;



Рис. 4. Одноразовый ударный пистолет BIG для взрослых – 15 G

- подскажет последовательность действий;
- выяснит, есть ли необходимость в дефибрилляции;
- поможет правильно провести непрямой массаж сердца и искусственное дыхание.

В компактном футляре автоматического дефибриллятора AED Plus находится все, что понадобится для спасения жизни. Дефибриллятор постоянно готов к работе – заряда батарей хватает на 5 лет в режиме ожидания, раз в неделю прибор проводит самодиагностику.

Возможности применения устройств внутрикостной инфузии в критических ситуациях и при СЛР

Многие клинические ситуации догоспитального этапа, включая в первую очередь неотложные критические состояния (в том числе шок или комы различной этиологии, остановку сердца, передозировку препаратов, дегидратацию и др.), требуют обязательного обеспечения сосудистого доступа, поскольку от его наличия напрямую зависит конечный результат и качество оказания медицинской помощи [59].

Алгоритмы и протоколы экстренной медицинской помощи во многих странах мира (США и Европа) предусматривают установку внутрикостного доступа (ВКД) как второго способа выбора сосудистого доступа у пациентов в том случае, если установить внутривенный доступ с 3-й или 4-й попытки или за более чем 90 с не удалось [59]. ВКД также является стандартом при оказании экстренной помощи пациентам с остановкой сердца [60–62].

Из ряда работ следует, что у 5–10 % взрослого контингента пациентов догоспитального этапа на установку внутривенного доступа уходит более 10 мин. В 6 % случаев обеспечение сосудистого доступа является критической проблемой, поскольку обеспечить его не удастся (что усугубляется сложностями доступа к пациенту). Поэтому



Рис. 5. Устройство для обеспечения внутрикостного доступа EZ-IO

альтернативой при этом является ВКД, поскольку это эффективная, надежная и сравнительно простая техника получения быстрого сосудистого доступа для введения жидкостей и медикаментов, известная уже более 80 лет. Как правило, ВКД используют, когда возможность быстрого получения периферического и центрального внутривенного доступа отсутствует.

Внутрикостный сосудистый доступ применяется при сердечно-легочной реанимации, нарушении сознания, дыхательной недостаточности, нестабильности гемодинамики и невозможности установки внутривенного катетера, и он может рассматриваться как один из вариантов выбора для неотложной реанимации.

Согласно данным работы [59], опубликовано более 450 научных статей, представлено более 160 000 случаев в обзорных журналах и множество исследований, подтверждающих быстроту, эффективность и безопасность внутрикостного доступа.

На сегодняшний день ВКД успешно применяется во многих странах, включая РФ, на до- и госпитальных этапах, в педиатрии, анестезиологии и реанимации, что обеспечивает существенную альтернативу традиционному внутрисосудистому доступу, который часто является затруднительным у пациентов, у которых в результате травмы или обездвиживания венозный доступ отсутствует.

После проведения сравнительных медицинских и экономических исследований эксперты МЗ РФ сделали заключение, что устройство для ВКД более удобно в работе, значительно менее травматично для пациентов и экономично в использовании, чем другие устройства. Следствием этого на сегодняшний день стало оснащение устройствами для ВКД реанимобилями, закупленных в 2008 и 2009 гг. в рамках Федеральной программы по снижению смертности при ДТП [63].

Таблица

Сравнительная характеристика доступных устройств для ВКД

Устройства	BIG (Израиль)	EZ-IO (Vidacare)
Потребительские свойства	Одноразовое устройство	Рассчитано на 1000 процедур
Принцип действия	Выстреливает иглу за счет пружинного механизма	Используется электрическая дрель для атравматичного проведения одноразовой иглы
Глубина установки	Сила выстрела иглы регулируется на самом устройстве по ограничению хода пружины	Определяется специалистом по ощущению провала в губчатое вещество кости. БОЛЕЕ БЕЗОПАСНО!
Фиксация	Требует очень тщательной фиксации иглы во время транспортировки	Дополнительной фиксации у взрослых не требуется, для детей есть специальный фиксатор
Присоединение к системе для инфузии	Игла имеет стандартный порт Люэра, во время транспортировки возможно отсоединение и попадание во в/к пространство воздуха	Игла имеет накручивающийся порт, в наборе есть переходник для подсоединения в/к иглы и в/в системы. БОЛЕЕ БЕЗОПАСНО!
Удаление иглы	Необходимо использовать дополнительный инструмент (зажим)	Удаляется накручивающимся шприцом из комплекта с иглой
Осложнения установки	Пробивание кости насквозь	Заточка иглы не повреждает надкостницу
При неудачной установке	Необходимо брать новое устройство	Можно использовать ту же иглу на другой конечности

Процитируем данные работы [59], в которой систематизированы сведения об устройствах ВКД и их сравнительных характеристиках.

Типы устройств для внутрикостного доступа (ВКД):

Вставляемые вручную воротковые иглы.

Ручные автоматические устройства для грудины (F.A.S.T. 1., 1997).

Одноразовый ударный пистолет BIG (рис. 4).

Bone Injection Gun, 2000, FDA (одобрен в Израиле, США).

Аккумуляторные многоразовые устройства (рис. 5. – EZ-IO AD&PD).

Можно отметить, что EZ-IO – единственное в мире электрическое устройство для ВКД – было разработано в 2001 г. (Vidacare), в 2004 г. одобрено FDA, включая места установки ВКД, и успешно применяется во многих странах для оказания медицинской помощи на до- и госпитальных этапах.

В таблице представлены сравнительные характеристики устройств для ВКД, зарегистрированных в РФ [59, 64, 65].

Вентиляция легких при СЛР, методы проведения ИВЛ

Искусственная вентиляция легких применяется не только при внезапном прекращении кровообращения, но и при других терминальных состояниях,

когда деятельность сердца сохранена, но резко нарушена функция внешнего дыхания (механическая асфиксия, обширная травма грудной клетки, головного мозга, острые отравления и другие состояния, при которых прогрессирует метаболический и газовый ацидоз).

Вопросы выполнения легочной вентиляции и обеспечения проходимости дыхательных путей широко освещены в современных руководствах по выполнению СЛР.

В данном обзоре сознательно не затронуты в необходимом объеме остроактуальные вопросы проведения реанимации с использованием современных аппаратов ИВЛ в аспектах оказания первой помощи не только в случае остановки кровообращения, но и в специфических для профессии космонавта случаях потери сознания после эпизодов острой гипоксической гипоксии и после ситуаций с высоким риском развития декомпрессионных расстройств из-за отказов или при повреждении систем обеспечения жизнедеятельности [67, 68]. Эта тема требует привлечения большого литературного материала и заслуживает отдельного анализа в рамках самостоятельного исследования.

Актуальные вопросы выбора ассистивных средств для проведения СЛР продолжают привлекать внимание исследователей, о чем свидетельствует обширный обзор [69].

Выводы

Несмотря на сложность, прогресс робототехники позволяет с оптимизмом смотреть на перспективы внедрения робототехнических средств в область медицинского обеспечения экипажей перспективных проектов пилотируемой космонавтики, включая оказание медпомощи обитателям лунных баз в случаях развития медицинских НШС, требующих проведения неотложных медицинских мероприятий.

При этом необходимо учитывать ряд факторов, которые связаны как с условиями проведения медицинских мероприятий, так и с опытом и уровнем профессиональной подготовки космонавтов, и их квалификацией в области оказания первой помощи пострадавшим при возникновении НШС.

В определенной степени при разработке медико-технических требований к оснащению бортовых медицинских укладок и составлению полетных инструкций для космонавтов можно опираться на опыт наземного проведения неотложных медицинских мероприятий и на существующие прототипы устройств и роботизированных систем. Однако безусловно, необходимы этапы наземных и натурных испытаний с участием космонавтов, имеющих опыт выполнения длительных орбитальных полетов, для оценки адекватности предлагаемых новых решений и способности выполнить эти достаточно сложные процедуры при соблюдении существующих нормативных документов и правил медицинской этики.

Отдельного внимания заслуживает вопрос подготовки космонавтов к выполнению достаточно сложных мероприятий СЛР с использованием современных роботов-симуляторов, включая и приобретение ими прочных практических навыков выполнения внутрикостного введения фармакологических препаратов, используемых для реанимации, обезболивания и поддержания витальных функций человека, как непосредственно в ходе СЛР, так и на последующих этапах сохранения жизни пострадавшему.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0130-2014-0006: тема 65.1 (№ гос. регистрации 01201370667) и госбюджетной темы 0073-2018-0003 (№ гос. регистрации АААА-А16-116030250074-1).

Список литературы

1. Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21.11.2011 № 323-ФЗ (последняя редакция) 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ (Принят Государственной Думой 1 ноября 2011 г. Одобрен Советом Федерации 9 ноября 2011 г.). [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2011/11/23/zdorovie-dok.html>.

Federal Law «On the Fundamentals of Health Care of Citizens in the Russian Federation» of November 21, 2011. № 323-FZ (last revised) November 21, 2011, № 323-FZ (Adopted by the State Duma on November 1, 2011. Approved by the Federation Council on November 9, 2011). [Electronic resource]. URL: <https://rg.ru/2011/11/23/zdorovie-dok.html>.

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

Ushakov I.B., Karpov A.A., Kryuchkov B.I. et al. Perspective solutions in the field of medical robotics to support the life of the crew and reduce medical risks in space flight // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2015. V. 49. № 6. P. 76–83.

3. Ушаков И.Б., Поляков А.В., Усов В.М. Методические подходы к ранжированию опасностей для здоровья и работоспособности космонавта в полете // *Биотехносфера*. 2013. № 4. С. 33–38.

Ushakov I.B., Polyakov A.V., Usov V.M. Methodical approaches to the ranking of hazards for the health and performance of an astronaut in flight // *Biotekhnosfera*. 2013. № 4. P. 33–38.

4. Ушаков И.Б., Усов В.М. Космическая биотехносфера в преддверии сверхдлительных пилотируемых полетов: антропоэкологический подход к анализу рисков // Там же. 2010. № 5–6 (11–12). С. 3–11.

Ushakov I.B., Usov V.M. Space biotechnosphere on the eve of ultra-long manned flights: Anthropoecological approach to risk analysis // *Ibid.* 2010. № 5–6 (11–12). P. 3–11.

5. Уйба В.В., Ушаков И.Б., Сапецкий А.О. Медико-биологические риски, связанные с выполнением дальних космических полетов // *Медицина экстремальных ситуаций*. 2017. С. 43–64.

Uyba V.V., Ushakov I.B., Sapetsky A.O. Medico-biological risks associated with the implementation of long-range space flights // *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy*. 2017. P. 43–64.

6. Шафиркин А.В., Григорьев Ю.Г., Коломенский А.В. Радиационный риск для космонавтов при осуществлении полета к Марсу // *Авиакосм. и экол. мед.* 2004. Т. 38. № 2. С. 3–14.

Shafirkin A.V., Grigoriev Yu.G., Kolomensky A.V. Radiation risk for astronauts during the flight to Mars // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2004. V. 38. № 2. C. 3–14.

7. Сайт «Медицинский журнал»: статьи врачей пациенту. Остановка сердца. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tiensmed.ru/news/cardiacarrest-1.html> (дата обращения: 21.08.2017).

«Medical Journal» website: articles of doctors to the patient. Heart failure. [Electronic resource]. URL: <http://www.tiensmed.ru/news/cardiacarrest-1.html>, (application date: 21.08.2017).

8. Сайт «Здоровье сердца и сосудов»: Внезапная остановка сердца. [Электронный ресурс]. URL: <http://>

serdec.ru/bolezni/vnezapnaya-ostanovka-serdca, (дата обращения: 21.08.2017).

«Heart and Vessel Health» website: Sudden cardiac arrest. [Electronic resource]. URL: <http://serdec.ru/bolezni/vnezapnaya-ostanovka-serdca>, (application date: 21.08.2017).

9. Delp M.D., Charvat J.M., Limoli C.L. et al. Apollo Lunar astronauts show higher cardiovascular disease mortality: possible deep space radiation effects on the vascular endothelium // Scientific Reports 6. Article number: 29901 (2016). DOI:10.1038/srep29901. [Electronic resource]. URL: <https://www.nature.com/articles/srep29901>, (application date: 21.08.2017).

10. Apollo astronauts more prone to cardiovascular problems // Medical News Today. 28 July 2016. [Electronic resource]. URL: <http://www.medicalnewstoday.com/articles/311956.php>, (application date: 21.08.2017).

11. Space travel may pose risks to heart // Health Day News. 28 July 2016. [Electronic resource]. URL: http://www.upi.com/Health_News/2016/07/28/Space-travel-may-pose-risks-to-heart/3321469715485/, (application date: 21.08.2017).

12. Сайт «Медицинский журнал»: статьи врачей пациентам. Остановка сердца. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tiensmed.ru/news/cardiocarrest-1.html>, (дата обращения: 21.08.2017).

«Medical Journal» website: articles of doctors to the patient. Heart failure. [Electronic resource]. URL: <http://www.tiensmed.ru/news/cardiocarrest-1.html>, (application date: 21.08.2017).

13. Мороз В.В., Бобринская И.Г., Васильев В.Ю. и др. Сердечно-легочная и церебральная реанимация. М., 2011.

Moroz V.V., Bobrinskaya I.G., Vasilyev V.Yu. et al. Cardiopulmonary and cerebral resuscitation. Moscow, 2011.

14. Марини Д., Уиллер А. Медицина критических состояний: Пер. с англ. М., 2002.

Marini D., Uiller A. Medicine of critical states: Transl. from English. Moscow, 2002.

15. Косачев В.Е., Шаповалова В.А. Первая помощь в чрезвычайных ситуациях // Мед. сестра. 2016. № 5. С. 3–6.

Kosachev V.E., Shapovalova V.A. First aid in emergency situations // Meditsinskaya sestra. 2016. № 5. P. 3–6.

16. Багненко С.Ф., Лопота А.В., Резник О.Н. и др. Применение новых аппаратных мехатронных средств наружной компрессии грудной клетки человека при проведении сердечно-лёгочной реанимации // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2015. № 2. С. 118–122.

Bagnenko S.F., Lopota A.V., Reznik O.N. et al. The use of new hardware mechatronic means of external compression of the human thorax during cardiopulmonary resuscitation // Vestnik khirurgii imeni I.I. Grekova. 2015. № 2. P. 118–122.

17. Приказ Минздравсоцразвития РФ от 17.05.2010 № 353н «О первой помощи» 12 июля 2017 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-minzdravsotsrazvitiya-rf-ot-17052010-n-353n/>, (дата обращения: 12.08.2017).

Order of the Ministry of Health and Social Development of the Russian Federation in 17.05.2010 № 353n «On first aid» on July 12, 2017. [Electronic resource]. URL: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-minzdravsotsrazvitiya-rf-ot-17052010-n-353n/>, (application date: 12.08.2017).

18. Wik L., Kramer-Johansen J., Myklebust H. et al. Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest // JAMA. 2005. V. 293. P. 299–304. DOI: 10.1001/jama.293.3.299.

19. Крючков Б.И., Карпов А.А., Усов В.М. Перспективные подходы к применению сервисных роботов в области пилотируемой космонавтики // Труды СПИИ РАН. 2014. № 1 (32). С. 125–151.

Kryuchkov B.I., Karpov A.A., Usov V.M. Perspective approaches to the application of service robots in the field of manned space exploration // Trudy SPII RAN. 2014. № 1 (32). P. 125–151.

20. Поляков А.В., Дашевский В.П., Усов В.М. Перспективы применения «умного хранилища» лекарственных средств для улучшения условий оказания медицинской помощи пострадавшим в чрезвычайных ситуациях // Медицина катастроф. 2016. № 1 (93). С. 56–57.

Polyakov A.V., Dashevsky V.P., Usov V.M. Prospects for using «smart storage» of medicines to improve the conditions for rendering medical assistance to victims in emergency situations // Meditsina katastrof. 2016. № 1 (93). P. 56–57.

21. Поляков А.В. Запас лекарственных средств на космических кораблях и на МКС просто необходим. [Электронный ресурс]. Сайт Госкорпорации «Роскосмос»: новости 17.02.2014. URL: <https://www.roscosmos.ru/20235/>, (дата обращения: 21.08.2017).

Polyakov A.V. The stock of medicines on spacecraft and the ISS is simply necessary. The site of the State Corporation Roskosmos: news 17.02.2014. [Electronic resource]. URL: <https://www.roscosmos.com/20235/>, (application date: 21.08.2017).

22. Скорая помощь на МКС: как лечить заболевшего космонавта?// Русская служба BBC: 10 января 2016. [Электронный ресурс]. URL: https://www.bbc.com/russian/science/2016/01/160110_iss_medical_care (дата обращения: 21.08.2017).

Ambulance on the ISS: how to treat a sick astronaut? // Russian service BBC: January 10, 2016. [Electronic resource]. URL: https://www.bbc.com/russian/science/2016/01/160110_iss_medical_care (application date: 21.08.2017).

23. Инструкция по поисково-спасательному обеспечению полета Международной космической станции с транспортными пилотируемыми кораблями «Союз». [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902094983>, (дата обращения: 21.08.2017).

Instructions for search and rescue support for the flight of the International Space Station with «Soyuz» manned transport vehicles [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902094983>, (application date: 21.08.2017).

24. Ушаков И.Б., Поляков А.В., Карпов А.А., Усов В.М. Использование медицинской робототехники в бортовых тренажерах и биотехнических системах на орбитальной станции // Робототехника и техническая кибернетика. 2015. № 2 (7). С. 12–17.

Ushakov I.B., Polyakov A.V., Karpov A.A., Usov V.M. Use of medical robotics in on-board simulators and biotechnical systems at the orbital station // Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika. 2015. № 2 (7). P. 12–17.

25. Ушаков И.Б., Поляков А.В., Усов В.М., Бояринцев В.В. Перспективы использования на пилотируемых космических аппаратах симуляционных технологий для практического освоения и поддержания в полете навыков выполнения космонавтами мероприятий неотложной медицинской помощи // Авиакосм. и экол. мед. 2015. Т. 49. № 2. С. 50–54.

Ushakov I.B., Polyakov A.V., Usov V.M., Boyarintsev V.V. Prospects of using simulated technologies for manned spacecraft for practical development and maintenance in flight of skills of cosmonauts performing emergency medical assistance // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2015. V. 49. № 2. P. 50–54.

26. Ушаков И.Б., Поляков А.В., Усов В.М. Бортовые тренажеры на основе робота-симулятора для поддержания в автономных длительных космических полетах навыков выполнения медицинских мероприятий // Робототехника и искусственный интеллект: Матер. V Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (г. Железнодорожск, 15 ноября 2013 г.) / В.А. Углев, ред. Красноярск, 2013. С. 43–45.

Ushakov I.B., Polyakov A.V., Usov V.M. On-board simulators based on a robot simulator to maintain skills of performing medical events in autonomous long space flights // Robotics and artificial intelligence: Proc. of the V All-Russian Scientific and Technical Conference. Conf. with international participation (Zheleznogorsk, November 15, 2013) / V.A. Uglev, ed. Krasnoyarsk, 2013. P. 43–45.

27. Гончаров С.Ф., Бобий Б.В. Служба медицины катастроф: основные итоги деятельности в 2011 г. и задачи на ближайший период // Медицина катастроф. 2012. № 1. С. 5–13.

Goncharov S.F., Bobiy B.V. Disaster medicine service: the main results of activities in 2011 and tasks for the nearest period // Meditsina katastrof. 2012. № 1. P. 5–13.

28. Yedukondalu G., Srinath A., Suresh Kumar J. Mechanical chest compression with a medical parallel manipulator for cardiopulmonary resuscitation // Int. J. Med. Robot. 2015. V. 11 (4). P. 448–457.

29. Cooper J.A., Cooper J.D., Cooper J.M. Cardiopulmonary resuscitation. history, current practice and future direction. contemporary reviews in cardiovascular medicine // Circulation. 2006. V. 114. P. 2839–2849.

30. Кобеляцкий Ю.Ю., Царев А.В. Механическая компрессия грудной клетки при проведении сердечно-легочной реанимации: опыт использования аппарата AutoPulse // Медицина неотложных состояний. 2013. № 4 (51). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/36499>, (дата обращения: 12.08.2017).

Kobelyatsky Yu.Yu., Tsarev A.V. Mechanical compression of the chest during cardiopulmonary resuscitation: experience using the AutoPulse apparatus // Meditsina neotlozhnykh sostoyaniy. 2013. № 4 (51). [Electronic resource]. URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/36499>, (application date: 21.08.2017).

31. Рекомендации по размещению автоматических дефибрилляторов (AED). [Электронный ресурс]. URL: http://adhara.ru/articles/defibrillator_aed_razmechenie.htm, (дата обращения: 21.08.2017).

Recommendations for the placement of automatic defibrillators (AED). [Electronic resource]. URL: http://adhara.ru/articles/defibrillator_aed_razmechenie.htm, (application date: 21.08.2017).

32. Верткин А.Л., Талибов О.Б., Ткачева О.Н. Сердечно-легочная реанимация на догоспитальном этапе // Мед. науч.-практ. портал. 2012. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lvrach.ru/2002/12/4529905/>, (дата обращения: 21.08.2017).

Vertkin A.L., Talibov O.B., Tkacheva O.N. Heart-pulmonary resuscitation of the nongovernmental hospital // Meditsinskiy nauchno-prakticheskiy portal. 2012. № 2. [Electronic resource]. URL: <https://www.lvrach.ru/2002/12/4529905/>, (application date: 21.08.2017).

33. Прасмыцкий О.Т., Ржеутская Р.Е. Сердечно-легочная реанимация: Учеб.-метод. пос. Минск, 2013.

Prasmytsky O.T., Rzhetskaya R.E. Cardiopulmonary resuscitation: Textbook. Minsk, 2013.

34. Устройства для внутрикостного сосудистого доступа. [Электронный ресурс]. URL: <https://m.med.mcfk.kz/question/859-ustroystva-dlya-vnutrikostnogo-sosudistogo-dostupa>, (дата обращения: 21.08.2017).

Devices for intraosseous vascular access. [Electronic resource]. URL: <https://m.med.mcfk.kz/question/859-ustroystva-dlya-vnutrikostnogo-sosudistogo-dostupa>, (application date: 21.08.2017).

35. Пиковский В.Ю., Барклая В.И. Применение полуавтоматических устройств для обеспечения внутрикостного доступа на догоспитальном этапе // Скорая медицинская помощь. 2014. № 4. С. 50–55.

Pikovskiy V.Yu., Barklaya V.I. Application of semiautomatic devices for providing intraosseous access at the prehospital stage // Skoraya meditsinskaya pomoshch. 2014. № 4. P. 50–55.

36. Белопухов В.М., Асадуллин Ш.Г., Шигапов Б.Г., Волгина А.В. Применение метода внутрикостной инфузии в медицине чрезвычайных ситуаций // Вестник современной клинической медицины 2014. Т. 7. Вып. 5. С. 59–62. [Электронный ресурс]. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_22021017_96802651.pdf, (дата обращения: 21.08.2017).

Belopukhov V.M., Asadullin Sh.G., Shigapov B.G., Volgina A.V. Application of the method of intraosseous infusion in medicine of emergency situations // Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny. 2014. V. 7. Is. 5. P. 59–62. [Electronic resource]. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_22021017_96802651.pdf, (application date: 21.08.2017).

37. Пиковский В.Ю. Внутрикостное введение лекарственных препаратов в комплексе интенсивной терапии на догоспитальном этапе // Медицина критических состояний. 2013. № 5/6. С. 49–53.
- Pikovskiy V.Yu. Intraosseous administration of drugs in the intensive care complex at the prehospital stage // Meditsina kriticheskikh sostoyaniy. 2013. № 5/6. P. 49–53.
38. Автоматические наружные дефибрилляторы. Продукция Powerheart AED G3. Сайт ООО «Фаст». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.firstaid72.ru/section/75>, (дата обращения: 21.08.2017).
- Automatic external defibrillators. Products Powerheart AED G3. The site of LLC «Fast». [Electronic resource]. URL: <http://www.firstaid72.ru/section/75>, (application date: 21.08.2017).
39. Автоматическое устройство для непрерывного массажа сердца Zoll AutoPulse. Дефибриллятор ZOLL AutoPulse. [Электронный ресурс]. URL: <http://imtehr.ru/meditsinskaya-tehnika/anestozilogia-reanimacia.html?id=319>, (дата обращения: 21.08.2017).
- Automatic device for continuous heart massage Zoll AutoPulse. Defibrillator ZOLL AutoPulse. [Electronic resource]. URL: <http://imtehr.ru/meditsinskaya-tehnika/anestozilogia-reanimacia.html?id=319>, (application date: 21.08.2017).
40. Рекомендации по проведению реанимационных мероприятий Европейского совета по реанимации (пересмотр 2015 г.) / В.В. Мороз, ред. 3-е изд., перераб. и доп. М., 2016.
- Recommendations for the resuscitation of the European Council for Resuscitation (2015 revision) / V.V. Moroz, ed. 3rd ed., revised and supplemented. Moscow, 2016.
41. Сафар П., Бичер Н.Дж. Сердечно-легочная и церебральная реанимация. 2-е изд., пер. и доп. М., 2003.
- Safar P., Bicher N.Dzh. Cardiopulmonary and cerebral resuscitation. 2nd ed., revised and supplemented. Moscow, 2003.
42. Молчанов И.В., Пиковский Ю.В., Доделия В.Ш., Железов Е.Г. Методические рекомендации по применению медицинского прибора «ПР-01 (Помощник реаниматора-01)» (ТУ 9444-016-70273484-2012, РУ № ФСП 2012/13796): Учеб.-метод. пос. М., 2014.
- Molchanov I.V., Pikovskiy Yu.V., Dodeliya V.Sh., Zhelezov E.G. Methodical recommendations for the use of the medical device «PR-01 (Assistant Resuscitator-01)» (TU 9444-016-70273484-2012, RU № FSR 2012/13796): Textbook. Moscow, 2014.
43. Ong M.E., Ornato J. et al. Virtually all the evidence supports the effectiveness of the AutoPulse device in increasing perfusion pressure, ROSC, and long-term survival rates // JAMA. 2006. V. 295 (22) P. 2629–2637.
44. Automated CPR [Electronic resource]. URL: <http://www.resuscitationcentral.com/circulation/content.aspx?id=2250>, (application date: 21.08.2017).
45. Автоматизированные устройства для компрессий грудной клетки. [Электронный ресурс]. URL: <http://i.trimm-yug.ru/u/36/6c6e0abf4e11e4b631d5178e2aecf2/-/%D0%A1%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20AUTOPULSE%20%D0%B8%20LUCAS.pdf>, (дата обращения: 12.08.2017).
- Automated devices for chest compressions. [Electronic resource]. URL: <http://i.trimm-yug.ru/u/36/6c6e0abf4e11e4b631d5178e2aecf2/-/%D0%A1%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20AUTOPULSE%20%D0%B8%20LUCAS.pdf>, (application date: 12.08.2017).
46. Сенчик К.Ю., Харламов В.В. Совершенствование мехатронных аппаратов наружной компрессии грудной клетки при проведении сердечно-легочной реанимации в экстремальных условиях // Матер. юбилейной конф.: «Аппаратура и методы медицинского контроля и функциональной диагностики состояния человека в экстремальных условиях». СПб., 2015. [Электронный ресурс]. URL: <http://biofizpribor.ru/science/yubilejnaya-konferenciya-2015/sovershenstvovaniye-mekhatronnykh-apparatov-naruzhnoy-kompressii-grudnoy-kletki/>, (дата обращения: 12.08.2017).
- Senchik K.Yu., Kharlamov V.V. Perfection of mechatronic devices of external compression of the thorax during cardiopulmonary resuscitation in extreme conditions // Materials of the anniversary conference: «Equipment and methods of medical control and functional diagnostics of the human condition in extreme conditions». St. Petersburg, 2015. [Electronic resource]. URL: <http://biofizpribor.ru/science/yubilejnaya-konferenciya-2015/sovershenstvovaniye-mekhatronnykh-apparatov-naruzhnoy-kompressii-grudnoy-kletki/>, (application date: 12.08.2017).
47. Koster R.W., Beenen L.F., van der Boom E.B. et al. Safety of mechanical chest compression devices AutoPulse and LUCAS in cardiac arrest: a randomized clinical trial for non-inferiority // Eur. Heart J. 2017. 00,1-8. ehx318, <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx318> Published: 01 July 2017.
48. Обзор автоматических устройств для сердечно-легочной реанимации. [Электронный ресурс]. URL: http://www.adhara.ru/articles/autopulse_and_cpr.htm, (дата обращения: 12.08.2017).
- Review of automatic devices for cardiopulmonary resuscitation. [Electronic resource]. URL: http://www.adhara.ru/articles/autopulse_and_cpr.htm, (application date: 12.08.2017).
49. Буреев А.Ш., Жданов Д.С., Сырямкин В.И., Клестов С.А. Устройство автоматического контроля параметров компрессии грудной клетки человека при сердечно-легочной реанимации // Вестник науки Сибири. 2011. № 1 (1). С. 162–166.
- Bureev A.Sh., Zhdanov D.S., Syryamkin V.I., Klistov S.A. The device of automatic control of parameters of a compression of a thorax of the person at cardiopulmonary resuscitation // Vestnik nauki Sibiri. 2011. № 1 (1). P. 162–166.
50. Грязнов Н.А., Кочкарев Д.А., Модягин А.И. и др. Перспективный мехатронный аппарат для наружной компрессии грудной клетки с возможностью контроля процесса сердечно-легочной реанимации организма человека // Вестник Московского гос. техн. университета им. Н.Э. Баумана Серия Машиностроение. Спец. вып. «Специальная робототехника и мехатроника». 2011. С. 72–76.

Gryaznov N.A., Kochkarev D.A., Modyagin A.I. et al. A promising mechatronic device for external compression of the thorax with the possibility of controlling the process of cardiopulmonary resuscitation of the human body // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni N.E. Baumana. Series Mechanical Engineering. Special issue «Special robotics and mechatronics». 2011. P. 72–76.

51. Грязнов Н.А., Лопота А.В., Соснов Е.Н. Комплексный подход к решению задач медицинской робототехники // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского гос. политехн. университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2013. Вып. 1 (164). С. 144–147.

Gryaznov N.A., Lopota A.V., Sosnov E.N. Complex approach to the solution of the problems of medical robotics // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie. 2013. Is. 1 (164). P. 144–147.

52. Сенчик К.Ю., Грязнов Н.А. Роботизированные системы для хирургии. Современное состояние и перспективы развития // Робототехника и техническая кибернетика. 2014. № 3 (4). С. 4–8.

Senchik K.Yu., Gryaznov N.A. Robotic systems for surgery. Current state and development prospects // Robotekhnika i tekhnicheskaya kibernetika. 2014. № 3 (4). P. 4–8.

53. Сенчик К.Ю., Харламов В.В., Грязнов Н.А., Лопота А.В. О перспективах применения робототехники в медицине // Экстремальная робототехника. 2015. № 1 (1). С. 40–43.

Senchik K.Yu., Kharlamov V.V., Gryaznov N.A., Lopota A.V. On the prospects of using robotics in medicine // Ekstremal'naya robototekhnika. 2015. № 1 (1). P. 40–43.

54. Plaisance P., Lurie K.G., Vicaut E. et al. A comparison of standard cardiopulmonary resuscitation and active compression/decompression resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest // N. Engl. J. Med. 1999. V. 341. P. 569–575.

55. Wigginton J.G., Miller A.H., Fernando L. et al. Mechanical devices for cardiopulmonary resuscitation // Curr. Opin. Crit. Care. 2005. V. 11. P. 219–223.

56. Gryaznov N.A., Senchik K.Yu., Kharlamov V.V., Kireeva G.S. Development of new external chest compression robotic system for cardiopulmonary resuscitation using the principles of theranostics // Am. J. of Applied Sci. 2006. V. 13. Is. 3. P. 230–235.

57. Автоматические дефибрилляторы ZOLL AED Plus. Сайт скорой помощи фельдшер.ру. [Электронный ресурс]. URL: http://www.feldsher.ru/apteka/defektar.php?ELEMENT_ID=38216, (дата обращения: 12.08.2017).

Automatic defibrillators ZOLL AED Plus. The site of ambulance paramedic.ru. [Electronic resource]. URL: http://www.feldsher.ru/apteka/defektar.php?ELEMENT_ID=38216, (application date: 12.08.2017).

58. Долбнева Е.Л., Петросян Е.С. Внутрикостный доступ – современное решение проблемы сосудистого доступа в критических ситуациях и при сердечно-легочной реанимации // Медицина неотложных состояний. 2012.

№ 1 (40). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/26905>, (дата обращения: 12.08.2017).

Dolbneva E.L., Petrosyan E.S. Intraosseous access is a modern solution to the problem of vascular access in critical situations and in cardiopulmonary resuscitation // Meditsina neotlozhnykh sostoyaniy. 2012. № 1 (40). [Electronic resource]. URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/26905>, (application date: 12.08.2017).

59. Wenzel V., Russo S., Arntz H.R. et al. The new 2005 resuscitation guidelines of the European Resuscitation Council: comments and supplements // Der Anaesthetist. 2006. V. 55 № 9. P. 958–979. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16915404>, (application date: 12.08.2017).

60. 2005 American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. Part 7.2. Management of Cardiac Arrest // Circulation. 2005. V. 112. P. 58–66.

61. Atkins D.I., Berg M.D., Berg R.A. et al. 2005 American Heart Association (AHA) guidelines for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency cardiovascular care (ECC) of pediatric and neonatal patients: pediatric basic life support // Pediatrics. 2006. V. 117. № 5.

62. Приказ Минздравсоцразвития РФ № 752 от 01.12.2005 г. (в ред. Приказа Минздравсоцразвития РФ от 31.03.2008 № 154н) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.homfo.ru/docs/prikaz-minzdravsotsrazvitiya-rf-ot-01-12-2005-n-752-ob-osnashchenii-sanitarnogo-avtotransporta/>, (дата обращения: 21.08.2017).

The order of the Ministry of Health and Social Development of the Russian Federation № 752 on 01.12.2005 (in the edition of Order № 154n of the Ministry of Health and Social Development of the Russian Federation of March 31, 2008). [Electronic resource]. URL: <http://www.homfo.ru/docs/prikaz-minzdravsotsrazvitiya-rf-ot-01-12-2005-n-752-ob-osnashchenii-sanitarnogo-avtotransporta/>, (application date: 21.08.2017).

63. Устройства для ВК доступа. Новые методики в анестезиологии – реаниматологии (презентация). [Электронный ресурс]. URL: <http://ppt-online.org/100554>, (дата обращения 21.08.2017).

Devices for IO access. New techniques in anesthesiology – resuscitation (presentation). [Electronic resource]. URL: <http://ppt-online.org/100554>, (application date: 21.08.2017).

64. Презентация на тему «История внутрикостного доступа ВКД» [Электронный ресурс]. URL: www.myshared.ru/slide/93631, (дата обращения: 21.08.2017).

Presentation on «The history of intraosseous access IOA». [Electronic resource]. URL: www.myshared.ru/slide/93631, (application date: 21.08.2017).

65. Агаджанян Н.А., Полунин И.Н., Степанов В.К. Человек в условиях гипоксии и гиперкапнии. М., 2001.

Agadzhanian N.A., Polunin I.N., Stepanov V.K. A human in the conditions of hypoxia and hypercapnia. Moscow, 2001.

66. Агаджанян Н.А., Чижов А.Я. Гипоксические, гипоксические, гиперкапнические состояния. М., 2003.

Agadzhanian N.A., Chizhov A.Ya. Hypoxic, hypoxic, hypercapnic states. Moscow, 2003.

67. Катунцев В.П., Осипов Ю.Ю., Филипенков С.Н. и др. Российский опыт медицинского обеспечения внекорабельной деятельности космонавтов, проведенной с борта Международной космической станции в 2001–2015 гг. // Медицина экстремальных ситуаций. 2016. № 1 (55). С. 8–18.

Katuntsev V.P., Osipov Yu.Yu., Filipenkov S.N. et al. The Russian experience in providing medical support for the extra-flying activity of cosmonauts conducted from the International Space Station in 2001–2015 // *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy*. 2016. № 1 (55). P. 8–18.

68. Благинин А.А., Емельянов Ю.А. Подходы к диагностике и лечению высотной декомпрессионной болезни при эвакуации авиационным транспортом пострадавших в чрезвычайных ситуациях // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. СПб., 2012. № 1. С. 45–48.

Blaginin A.A., Yemelyanov Yu.A. Approaches to the diagnosis and treatment of high altitude decompression sickness in the evacuation of victims in emergency situations by air transport // *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. St. Petersburg, 2012. № 1. P. 45–48.

69. Remino C., Baronio M., Pellegrini N. et al. Automatic and manual devices for cardiopulmonary resuscitation: A review // *Adv. in Mech. Engineer*. 2018. V. 10. № 1. P. 1–14. [Electronic resource]. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1687814017748749> (application date: 21. 01.2018).

Поступила 17.11.2017

ASSISTANT'S CAPABILITY OF ROBOTIC SYSTEMS FOR CARDIOPULMONARY RESUSCITATION ON THE LUNAR BASE

Polyakov A.V., Gryaznov N.A., Senchik K.Yu., Usov V.M., Motienko A.I.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 3. P. 13–27

The review is devoted to the present-day robotic systems and their utility in supporting vital body functions and conservation of human life in the event of medical emergency (ME) during space mission or autonomous expeditions to the Moon. To cope with ME fraught with acute development of life-threatening condition two components will be of the highest criticality: 1) crew competence in emergency medicine including cardiopulmonary resuscitation (CPR) and 2) availability of robotic systems for assistance to the resuscitation procedures usually done by paramedical personnel. The review discusses applicability of mechatronic cardiocompression systems to perform basic CPR on the lunar base. Advanced CPR can, possibly, include mechanical devices for intraosseous introduction of drugs in addition to other resuscitation equipment like apparatuses for artificial lung ventilation and defibrillation.

It is believed that the crew will keep up the CPR skills with the help of robotic simulators.

Key words: lunar base, cardiopulmonary resuscitation (CPR), robotic devices, mechatronic cardiocompression systems, intraosseous introduction of drugs, CPR robotic simulators.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 159.9:629.7, 629.78.07:159.9

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «КОНТЕНТ»

Юсупова А.К., Швед Д.М., Гушин В.И., Суполкина Н.С., Чекалина А.И.

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

E-mail: d.shved84@gmail.com

Космический эксперимент «Контент» проводится с целью апробации объективного метода количественного контент-анализа переговоров экипажа с ЦУП для оперативной дистанционной оценки психофизиологического состояния космонавта, а также внутригруппового и межгруппового (экипаж – ЦУП) взаимодействия. Методология, используемая в эксперименте, преимущественно базируется на представлениях о манифестации в коммуникативном поведении индивидуальных стратегий совладания со стрессом и разрешения проблемных ситуаций (копинг-стратегий). Данные стратегии рассматриваются как эффективные и неэффективные в контексте их влияния на успешность выполнения деятельности, которая во многих ситуациях взаимосвязана с качеством межгруппового общения. В ходе проведения эксперимента было изучено влияние различных факторов (включая длительность полета, наличие значимых событий и проблемных ситуаций, изменения состава экипажа) на характеристики речевой коммуникации космонавтов. Подтверждены представления о значимости периода «конечного порыва». Выявлена тенденция к увеличению проявлений «феномена третьей четверти» при возрастании длительности полета до 1 года. Проблемные ситуации могут приводить как к росту числа неэффективных копинг-стратегий (что имеет существенное диагностическое значение), так и к увеличению количества эффективных стратегий совладания, дающих космонавтам возможность выполнить программу полета, несмотря на возникающие трудности. Показано, что изменения статуса космонавта в экипаже приводят к изменению стиля и объема переговоров с ЦУП, что подтверждает представление об особой роли командира в качестве «рупора» экипажа. Проведенные в эксперименте сбор и систематизация массива высказываний экипажа, а также выделение и описание значимых речевых феноменов позволяют перейти к созданию автоматизированной методики контент-анализа радиопереговоров «экипаж – ЦУП».

Ключевые слова: дистанционный психологический мониторинг, общение экипажа, контент-анализ, космический эксперимент.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 3. С. 28–37.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-3-28-37

Группой психологов Института медико-биологических проблем РАН был разработан подход к изучению психоневрологического статуса космонавтов на основе анализа их переговоров с Центром управления полетами (ЦУП) [1, 2]. Данный метод вошел в практику группы психологического обеспечения полетов и является основой для выдачи соответствующих заключений в ходе космического полета (КП). Основным преимуществом метода является проведение мониторинга психоневрологического статуса космонавтов непосредственно в ходе выполнения ими реальной деятельности (важным элементом которой являются переговоры с ЦУП) без использования дополнительного оборудования и затрат времени экипажа [3].

Однако качественный подход к мониторингу поведения и состояния космонавтов имеет ограничения, связанные с его субъективностью и зависимостью от личности конкретного эксперта. Принципиальной особенностью предложенного В.И. Гушиным, В.И. Мясниковым и А.К. Юсуповой [4] контент-анализа переговоров экипажа с ЦУП является сведение содержания общения, на основе согласованных правил кодирования, к ограниченному воспроизводимому набору количественно измеряемых категорий [5, 6]. Ранее метод контент-анализа применялся в космических экспериментах (КЭ) на борту Международной космической станции (МКС) американскими исследователями для работы с дневниковыми записями членов экипажей [7].

Целью российского КЭ «Контент» является апробация объективного метода количественного контент-анализа переговоров экипажа с ЦУП для оперативной дистанционной оценки психофизиологического состояния космонавта, а также внутригруппового и межгруппового (экипаж – ЦУП) взаимодействия.

Задачи исследования:

1. Изучение связи психоэмоционального состояния космонавтов и количественных параметров их общения с ЦУП в ходе длительного космического полета (ДКП).

2. Оценка связи психоэмоционального статуса космонавтов, а также внутригруппового и межгруппового взаимодействия и эффективности информационного обмена в контуре «экипаж – ЦУП».

3. Оценка эффективности межгруппового взаимодействия на основе анализа коммуникаций в контуре «экипаж – ЦУП».

В исследовании мы исходим из основанной на классических представлениях Р. Лазаруса идеи о том, что, если ситуация воспринимается человеком как стрессовая, он привычно начинает использовать сформированные в ходе жизни способы преодоления (копинг-стратегии). Мы рассматриваем общение космического экипажа как одну из форм поведенческих проявлений совладания космонавтов с возникающими в ходе полета проблемными ситуациями. В соответствии с нашей гипотезой повышение уровня стресса на фоне действия неблагоприятных факторов ДКП, может приводить к активации привычного стиля поведения (на основе копинг-стратегий), который сформировался у индивида достаточно давно (в том числе присущий индивидуальный стиль общения) и поэтому включается автоматически. Это соответствует мнению психотерапевта V. Satir, что в условиях стресса человек имеет тенденцию к проявлению типичного для него стиля коммуникативных реакций [8]. Данный стиль может облегчать коммуникацию и разрешать проблему (эффективные стратегии), а может, напротив, сдерживать конструктивное общение, избегать решений. Этот методологический принцип стал основой для построения методики сбора данных в КЭ «Контент»: в процессе анализа переговоров о рутинных и проблемных ситуациях ДКП группа экспертов идентифицировала речевые корреляты используемых копинг-стратегий [9, 10].

Как указывали В.И. Мясников, С.И. Степанова и др., развитие под влиянием космического стресса астенического синдрома происходит постепенно и поэтапно. Проведенные исследования адаптации космонавтов к условиям ДКП свидетельствуют, что наиболее сложными этапами полета являются острый период адаптации к условиям КП и так называемая стадия «конечного порыва», когда экипаж готовится к возвращению на Землю [11]. Кроме того, данные американских исследователей по полярным зимовкам, где комплекс неблагоприятных психофизиологических факторов близок к действующим в ДКП, указывают на особое значение «феномена третьей четверти», который связан с ухудшением психофизиологического состояния (дисфория, нарушение сна и пр.) и психической работоспособности [12, 13]. Ранее в полетах, в отличие от гермокамерных экспериментов, выраженных проявлений этого феномена не отмечалось [14]. Однако, исходя из представления, что значительное увеличение длительности полета может сделать проявления

этого феномена более выраженными, проводился поиск в высказываниях экипажа его семантических эквивалентов.

Анализируя данные переговоров, мы предполагали, что критические периоды экспедиции связаны с ростом когнитивной нагрузки на экипаж – необходимости оперативного решения большого количества проблем, в том числе нетиповых, требующих сотрудничества с ЦУП. Это могло выражаться в интенсификации общения космонавтов с ЦУП, большем количестве взаимных запросов об информации, консультаций со специалистами. Вместе с тем совместное решение проблем могло сопровождаться как эффективными стратегиями совладания (принятием ответственности за решение, ростом инициативы, точного планирования), так и малоэффективными, связанными с ростом в общении требований и проявлений конфронтации. Наконец, влияние критического периода могло проявиться в росте жалоб, нарушений настроения и росте использования «защитных» копинг-стратегий (по R. Plutchik), позволяющих «отстраиваться» от проблем (юмор, сарказм, гнев) [15].

Кроме периодов адаптации к неблагоприятным факторам полета, на психологическое состояние космонавтов в ДКП могут влиять различные значимые события [11]. К ним можно отнести резкое сокращение или увеличение количества членов экипажа, периоды неблагоприятного психологического климата, а также получение сообщений негативного характера с Земли, влияющих на выполнение полетной программы. Сочетание таких факторов может вызвать отражающийся в содержании радиопереговоров кризис в общении в контуре «экипаж – ЦУП», который в соответствии с нашей гипотезой должен проявляться в росте числа высказываний, отражающих использование стратегий совладания со стрессом.

Методика

Основной акцент в исследовании сделан на сочетании привычного мониторинга психоневрологического статуса космонавтов и контент-анализа переговоров экипажа с Землей (операторами ЦУП и специалистами). Копинг-стратегии могут быть условно разделены по принципу эффективности / неэффективности коммуникации (способствует ли использование копинг-стратегии полноценному обмену информацией и разрешению проблемных ситуаций) (табл. 1). Другой осью разделения копинг-стратегий является то, насколько они направлены на снижение эмоционального напряжения собеседников (см., например, представления N. Kanas о переносе негативных эмоций на внешние по отношению к экипажу группы, в том числе ЦУП [16, 17]) (табл. 2). Эти 2 оси (преодоление объективного

Таблица 1

Копинг-стратегии, разделенные по степени эффективности коммуникации

Эффективные	Амбивалентные	Неэффективные
Доверие. Поддержка. Рациональный отказ. Позитивная переоценка. Самоконтроль. Планирование. Конструктивная инициатива. Рациональный отказ + инициатива (инициатива с сопротивлением). Юмор	Поиск поддержки. Подчинение	Недоверие. Конфронтация. Откладывание / перенос ответственности. Избегание. Сарказм, ирония

Таблица 2

Копинг-стратегии, разделенные по степени снижения эмоционального напряжения

Направленные на решение проблем	Амбивалентные	Направленные на снижение эмоционального напряжения
Рациональная конфронтация. Самоконтроль. Недоверие. Рациональный отказ + инициатива (инициатива с сопротивлением). Конфронтация. Шутка (сарказм, ирония)	Планирование. Конструктивная инициатива. Откладывание ответственности	Поддержка. Поиск поддержки. Позитивная переоценка. Принятие ответственности. Доверие. Избегание. Шутки (добрый юмор)

Примечание. Здесь и в табл. 4: * – статистически значимые различия $p < 0,05$.

и субъективного стресса) формируют условное пространство индивидуальных копинг-стратегий. Подробное описание методики и категорий контент анализа приведено в ряде публикаций [9, 10]. Для оценки специфической роли различных периодов полета в адаптации к условиям ДКП проводилось сравнение числа высказываний, отражающих те или иные копинг-стратегии, по четвертям полета. При этом учитывалось, что в ходе одной и той же экспедиции четверти полета у ее участников могут отличаться по срокам.

Описываемое в данной статье исследование включает анализ коммуникации 5 космонавтов и охватывает период, включающий в себя годовой полет, а именно, экспедиции МКС-43–46, продолжительность от 141 до 340 сут. Обработка данных производилась 3 психоневрологами путем подсчета употребления высказываний, соответствующих категориям контент-анализа, в текстах ежедневных стенограмм переговоров космических экипажей с ЦУП. При интерпретации данных использовались еженедельные психоневрологические отчеты ЦУП и материалы послеполетных интервью.

В соответствии с задачами исследования и характером исходных данных были выбраны следующие методы статистической обработки данных,

реализуемые программами MS Excel и SPSS 18.0: определение предельных погрешностей и доверительных интервалов; линейная и полиномиальная аппроксимация данных с расчетом коэффициентов достоверности; многомерный непараметрический Н-критерий Краскела – Уоллиса для оценки различий в использовании копинг-стратегий в разные периоды полета.

Результаты и обсуждение

Динамика психоэмоционального состояния космонавтов на основе анализа их коммуникации

Анализ данных подтвердил представление О.П. Козеренко о развитии в заключительной фазе полета (последние 30–45 сут) периода «конечного порыва», рассматриваемого как критически сложный для экипажа [18]. Практически у всех членов экипажа в этот отрезок экспедиции отмечалось увеличение общего объема переговоров, связанных с повышением интенсивности деятельности, появлением проблем в реализации завершающей стадии полета (в том числе укладка, размещение грузов, подготовка оборудования к спуску и пр.). Решение этих проблем приводило к росту высказываний, отражающих большее внимание к планированию

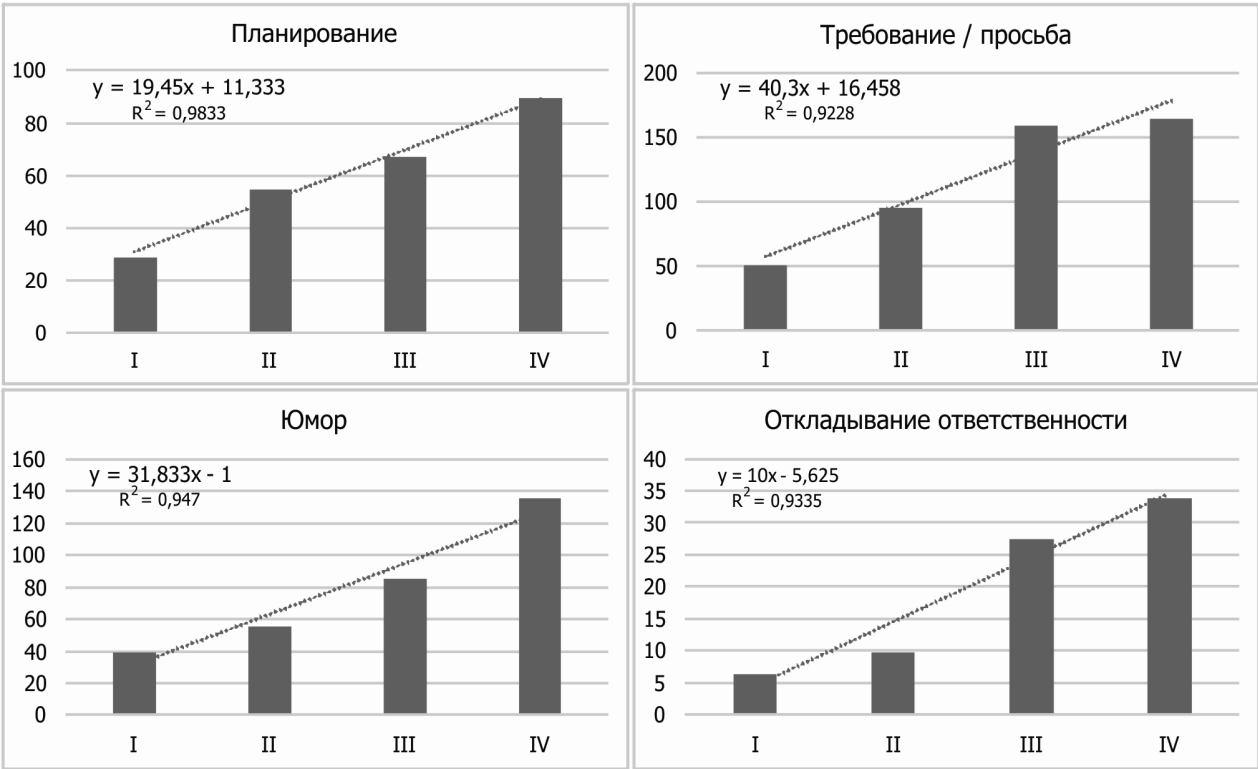


Рис. 1. Проявление феномена «конечного порыва» в коммуникации экипажа
Здесь и на рис. 3: по оси абсцисс – четверти экспедиции, по оси ординат – количество высказываний

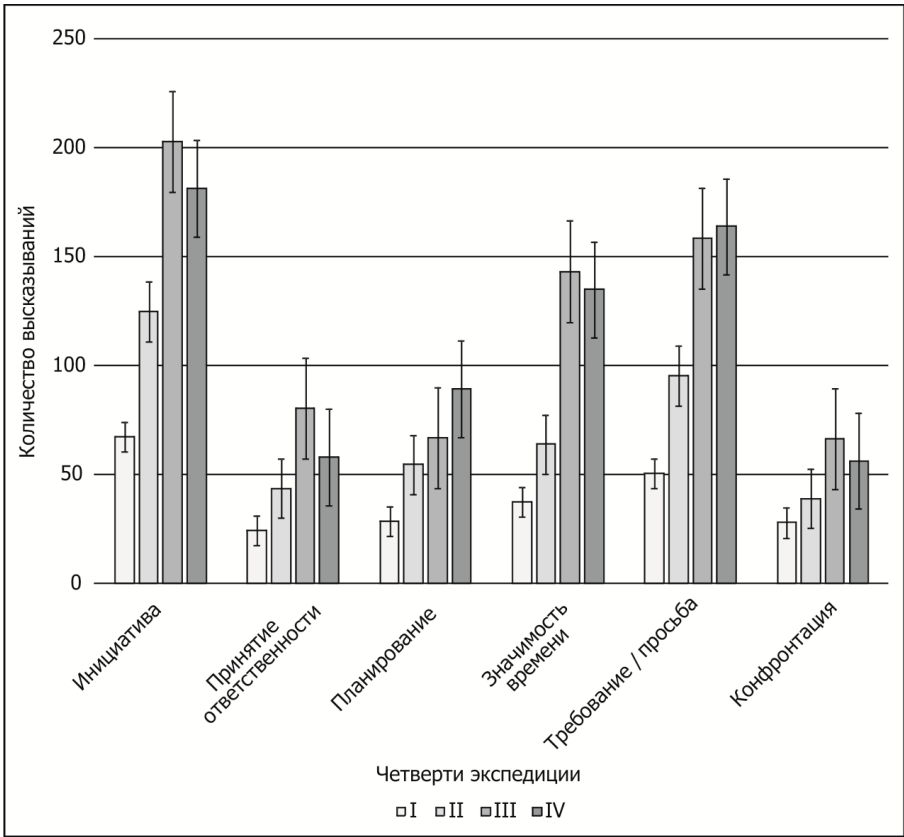


Рис. 2. Эффективные и неэффективные копинг-стратегии в различные периоды КП

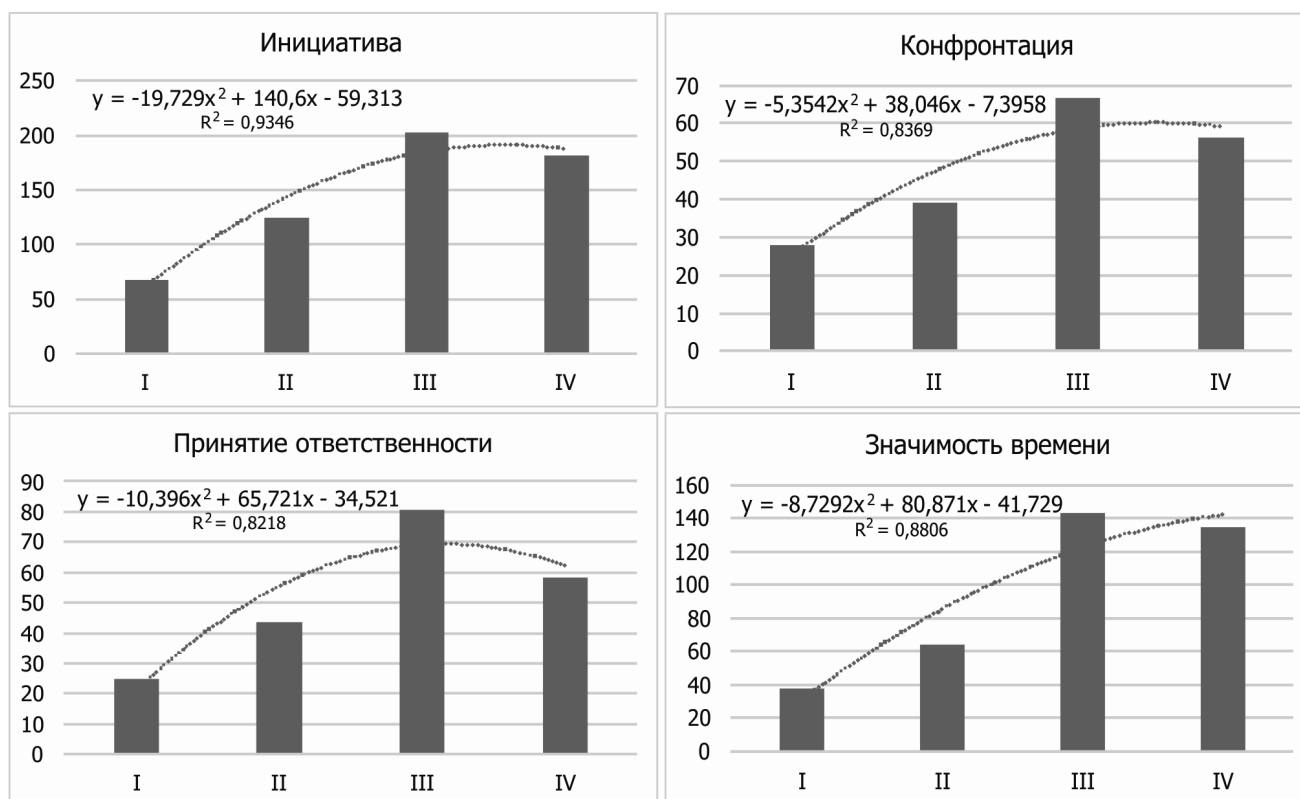


Рис. 3. Проявление феномена «третьей четверти» в коммуникации экипажа

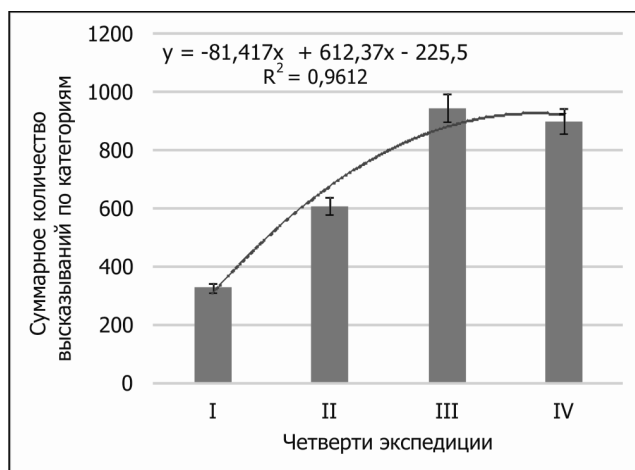


Рис. 4. Выраженность копинг-стратегий в речи экипажа на различных стадиях КП

рабочего процесса (достоверность линейной аппроксимации $R^2 = 0,983$) (рис. 1). Вместе с тем отмечалось увеличение числа высказываний, связанных с проявлением претензий (требований/просьб) экипажа к ЦУП (достоверность линейной аппроксимации $R^2 = 0,923$), стремлением переложить ответственность за проблему (достоверность линейной аппроксимации $R^2 = 0,934$). Преодолению

сложного периода способствовало более частое использование космонавтами юмора при реагировании на проблемные ситуации (достоверность линейной аппроксимации $R^2 = 0,947$). По R. Plutchik, юмор позволяет произвести позитивную переоценку ситуации с целью ослабления эмоционального напряжения [15]. Таким образом, росло общее число высказываний, содержащих копинг-стратегии – как эффективные, так и неэффективные, – что подтверждало наличие в этот период повышение уровня психологического стресса (рис. 2).

Среди полученных результатов особое значение имеют обнаруженные впервые в отечественной практике в экспедициях МКС-43–46 проявления «феномена третьей четверти». Аналогично периоду «конечного порыва», в эту фазу экспедиций также отмечался общий рост использования стратегий совладания со стрессом в переговорах экипажей с ЦУП (рис. 3, 4). Успешно справившись с выполнением программы полета экипажи в этот период реагировали на появление проблемных ситуаций эффективными стратегиями совладания со стрессом. Об этом свидетельствует увеличение числа высказываний, связанных с копинг-стратегиями «Конструктивная инициатива» (достоверность полиномиальной аппроксимации $R^2 = 0,935$) и «Принятие ответственности» (достоверность полиномиальной аппроксимации $R^2 = 0,822$). Иными

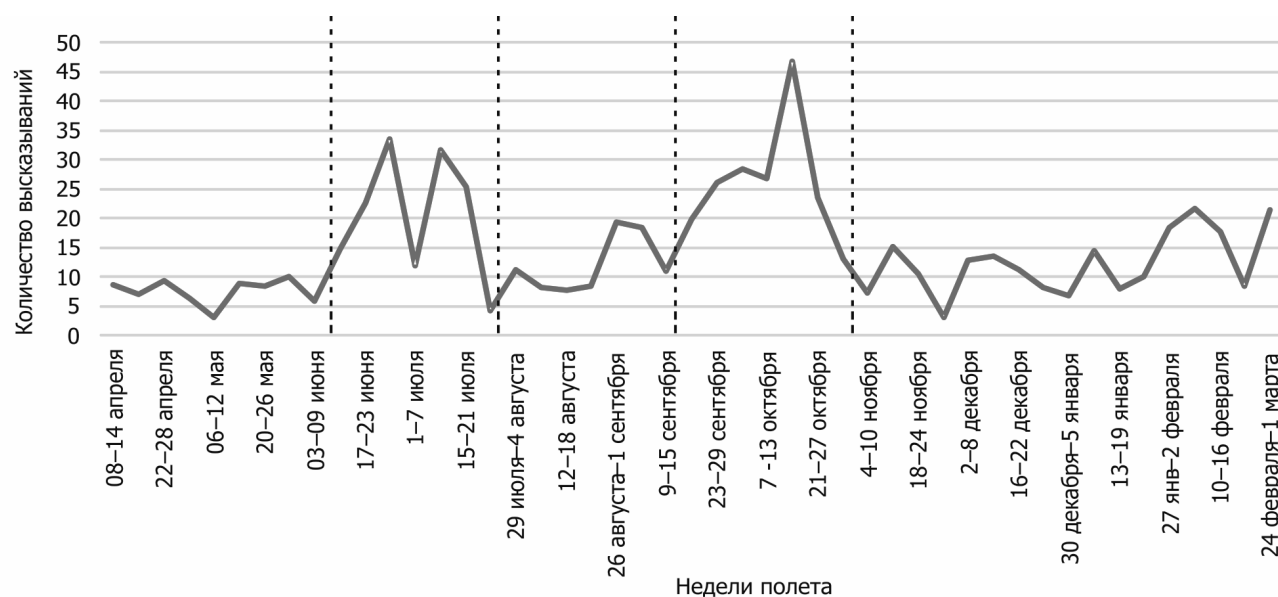


Рис. 5. Динамика использование копинг-стратегий в речи членов экипажей МКС-43–46

словами, несмотря на стрессовые условия, члены экипажа искали способы оптимизации выполнения заданий, проявляли инициативу и брали на себя ответственность за ее реализацию. Интерес представляет увеличение числа высказываний, подчеркивающих значение использования времени экипажем (достоверность полиномиальной аппроксимации $R^2 = 0,881$). Мы полагаем, что это связано со стремлением космонавтов четко планировать свою деятельность, инициативно предлагая ЦУПу более эффективные способы использования времени экипажа. В некоторых случаях неэффективное, с точки зрения космонавтов, использование их времени приводило к появлению контрпредложений с негативной эмоциональной окраской (категория «Конфронтация», достоверность полиномиальной аппроксимации $R^2 = 0,837$). Таким образом, хорошо профессионально подготовленный, опытный экипаж хотел большей самостоятельности, что не всегда поддерживалось Землей. То есть в ходе экспедиций МКС-43–56 было особенно выражено «дренирование» через общение с ЦУП («перенос» по N. Kanas [17]) испытываемых в ходе взаимодействия с наземными службами негативных переживаний. Эти данные подтверждают результаты американских коллег – ответственных исполнителей КЭ Journals и Reaction Self Test, которые получали схожие результаты и в предыдущих исследованиях [7, 19] и рассматривают «феномен третьей четверти» негативно, как явление, требующее психотерапевтической коррекции.

Таким образом, исследование позволило выделить третью и четвертую четверти полета как проблемные. При этом не все выявленные различия

являются достоверными и требуют дальнейшего изучения.

Влияние психологически значимых событий на переговоры экипажа с ЦУП

Для экипажей экспедиций МКС-43–46 критическими, с точки зрения сочетания неблагоприятных психологических факторов периодами полета были июнь–июль 2015 г. и сентябрь–октябрь 2015 г. Как показано на рис. 5, в эти периоды увеличивалось количество высказываний, выражающих использование стратегий совладания, как эффективных, так и неэффективных. Естественно, увеличение копинг-стратегий в речи потребовало исследования сопутствующих им ситуаций реализации программы полета. Следует подчеркнуть, что в данном случае речь идет о тенденциях, статистическая достоверность которых пока не подтверждена.

Так, в июне–июле 2015 г. на российском сегменте (РС) осталось 2 человека (минимальное число за годовой полет), что способствовало увеличению рабочей нагрузки на членов экипажа. Кроме того, в данный период отмечалось ухудшение «психологического климата» в экипаже (по данным послеполетных интервью). Сложность периода сентябрь–октябрь 2015 г., внесшего свой вклад в проявление «феномена третьей четверти», также была обусловлена одновременным действием ряда объективных и субъективных факторов. К объективным относятся резкое увеличение численности экипажа на борту, когда на РС МКС прибыли экспедиции МКС-45–46 и ЭП-18, что временно увеличило численность экипажа МКС до 9 человек и привело к возникновению негативного феномена «скученности», связанного

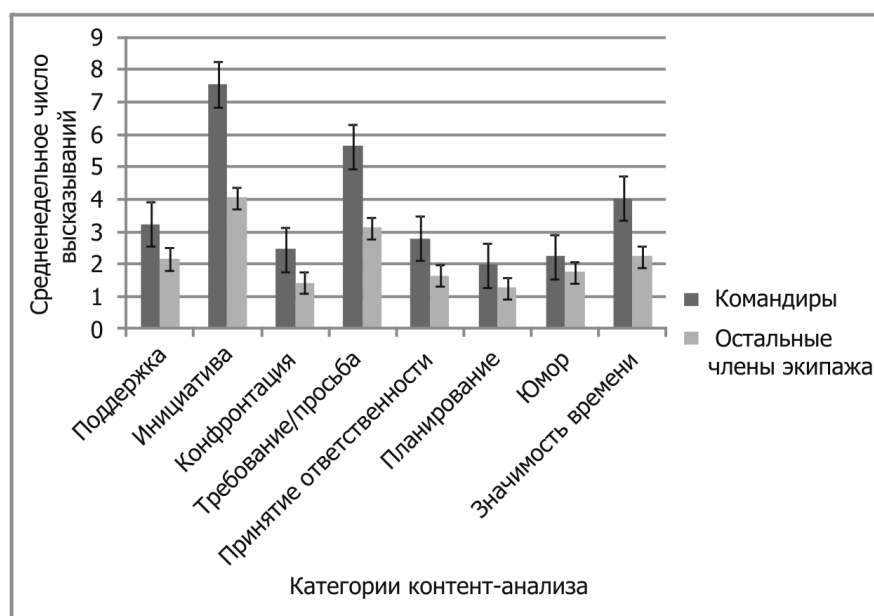


Рис. 6. Сравнение содержание коммуникации командиров и других членов экипажей

с эффектом уменьшения приватности и персонального психологического пространства. Кроме того, на коммуникацию повлияла неоднократно произошедшая за этот период смена старшего по РС, приведшая к изменению ролевой структуры группы и связанному с этим ростом межличностной напряженности. По данным N. Kanas, такая ситуация зачастую приводит к частому переносу негативных эмоций на сотрудников наземных служб [16, 17], что и происходило в виде роста числа высказываний, отнесенных к категориям «Конфронтация», и в меньшей степени – «Откладывание ответственности». Можно предположить, что неэффективные стратегии указывают не просто на наличие стресса, но на начало перехода в его негативно влияющую на психоэмоциональное состояние форму. В то же время, следует еще раз отметить, что экипажи смогли справиться, совладать с данными стрессовыми ситуациями. Это проявилось в росте направленных на разрешение проблем копинг-стратегий «Поддержка» и «Инициатива», а также снижающего эмоциональное напряжение юмора.

Влияние роли в экипаже на коммуникацию

Обращает на себя внимание рост общения космонавтов с ЦУП при таком значимом событии, как смена ими роли в группе – занятие поста старшего по РС МКС. В ходе экспедиций МКС-43–46 все вступавшие в должность командиры (старшие по российскому сегменту) общались с ЦУП значительно чаще и больше, чем другие члены экипажей, и были при этом более требовательны к наземным службам. Это служит хорошим подтверждением представлений В.И. Мясникова и И.С. Замалетдинова о

том, что командиры экипажа являются его «рупом», доносящим Земле от лица команды ее мнение [3]. Наибольшая разница в употреблении категорий контент-анализа командирами и остальными членами экипажа в годовом полете наблюдалась по категориям «Инициатива», «Требование/просьба» и «Значимость времени», а также «Конфронтация» и «Принятие ответственности» (рис. 6). Это позволяет в целом характеризовать стиль командиров как инициативный, более вдумчивый и при этом более требовательный по отношению к наземным службам.

Примером изменений индивидуального стиля переговоров с ЦУП под влиянием индивидуально значимых событий может служить структура переговоров космонавта А. Средняя частота употребления в его речи категорий «Инициатива» ($p = 0,024$) и «Принятие ответственности» ($p = 0,003$) существенно возросла при принятии роли командира / старшего по сегменту, а затем снизилась при возвращении к прежней роли (табл. 3).

Принятие роли лидера существенно повлияло на коммуникативное поведение космонавта и всего экипажа, сделав общение экипажа с ЦУП более активным и инициативным. Эти данные еще раз подтверждают положение V. Satir [8] о проявлении типичного для человека стиля коммуникативных реакций в условиях стресса, в связи с существенным повышением рабочей нагрузки и ответственности.

У другого космонавта (Б) при принятии роли командира отмечается актуализация 4 эффективных способов реагирования на стресс (категории «Принятие ответственности», ($p = 0,005$), «Поддержка», ($p = 0,015$) «Инициатива», ($p = 0,004$) «Юмор» ($p = 0,003$) (табл. 4).

Таблица 3

Показатели эффективных копинг-стратегий космонавта А в разные периоды полета

Категории	До назначения старшим по РС МКС (средние по периоду 1–9-я неделя)	Старший по РС МКС (средние по периоду 10–21-я неделя)	После сдачи полномочий старшего по РС МКС (22–26-я неделя)	Н	Значимость
Поддержка	1,22	4,54	1,86	1,595	0,450
Инициатива	1,6	4,95	2,4	7,455	0,024*
Юмор	0,92	2,82	2,45	2,289	0,318
Принятие ответственности	2,25	8,16	2,5	11,914	0,003*

Примечание. Здесь и в табл. 4: * – статистически значимые различия $p < 0,05$.

Таблица 4

Показатели эффективных копинг-стратегий космонавта Б в разные периоды полета

Категории	До назначения старшим по РС МКС (средние по периоду 1–4-я неделя)	Старший по РС МКС (средние по периоду 5–12-я неделя)	После получения негативного сообщения с Земли	Н	Значимость
Поддержка	0,37	9,21	2,0	10,460	0,005*
Инициатива	1,87	12,16	9,0	8,457	0,015*
Юмор	0,13	8,48	2,83	10,99	0,004*
Принятие ответственности	0,25	5,22	3,08	11,652	0,003*

Выводы

Полученные результаты носят предварительный характер и должны быть подтверждены на большей статистической выборке в ходе последующих экспедиций. Однако нам представляется значимым ряд выявленных тенденций переговоров космонавтов:

1. В проблемных ситуациях полета у успешно справляющихся с выполнением полетной программы происходит рост числа высказываний, содержащих проявления стратегий совладания. При этом увеличивается как число эффективных (позволяющих совместно с ЦУП решать проблемы и снижать эмоциональное напряжение), так и неэффективных копинг-стратегий, негативно влияющих на взаимодействие с Землей.

2. Подтверждены представления О.П. Козеренко [18] о том, что период «конечного порыва» является для космонавта сложным периодом полета и оказывает существенное влияние на структуру его коммуникации с наземными службами. Выявлена тенденция к

увеличению проявлений «феномена третьей четверти» при возрастании длительности полета до 1 года.

3. Показано влияние индивидуально значимых событий на объем, структуру и содержание коммуникации в полете. К ним относятся, прежде всего, смена статуса космонавта в экипаже, приводящая к изменению стиля и объема переговоров с наземными службами.

Сбор данных переговоров проводился при участии группы дежурных ЦУМОКО под руководством А.П. Шуленина и С.В. Позднякова. Выражаем благодарность дежурным ЦУМОКО, сотрудникам лаборатории О-036 ГНЦ РФ – ИМБП РАН: Е.Г. Черновой, В.П. Боровиковой, Е.Я. Кожинной, Л.И. Миролубовой и др.

Работа выполнена в рамках договора между ГНЦ РФ – ИМБП РАН и РКК «Энергия» при частичной финансовой поддержке программы фундаментальных исследований РАН.

Список литературы

1. Береговой Г.Т., Богдашевский Р.Б., Григоренко В.Н., Почкаев И.Н. Космическая академия. М., 1993.
Beregovoy G.T., Bogdashevskiy R.B., Grigorenko V.N., Pochkaev I.N. The space academy. Moscow, 1993.
2. Дистанционное наблюдение и экспертная оценка: общение и коммуникация в задачах медицинского контроля / П.В. Симонов, В.И. Мясников, ред. М., 1982.
Distant observation and expert assessment / P.V. Simonov, V.I. Myasnikov, eds. Moscow, 1982.
3. Мясников В.И., Шапошников Е.А., Замалетдинов И.С. Полетный психоневрологический контроль // Орбитальная станция «Мир». М., 2001. Т. 1. С. 322–333.
Myasnikov V.I., Shaposhnikov E.A., Zamaletdinov I.S. Inflight psychoneurological control // *Orbital station «Mir».* Moscow, 2001. V. 1. P. 322–333.
4. Мясников В.И., Гущин В.И., Юсупова А.К., Попова И.И. Предварительные результаты психологического анализа коммуникаций экипажей Международной космической станции // Вестник Томского гос. пед. Университета. Сер. Гуманитарные науки. Психология. 2005. Вып. 1 (45). С. 112–118.
Myasnikov V.I., Gushchin V.I., Yusupova A.K., Popova I.I. Preliminary results of ISS space crews communication psychological analysis // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Ser. Human Sciences. Psychology.* 2005. 1 (45). P. 112–118.
5. Berelson B. Content analysis in communication research. New York, 1971.
6. Krippendorff K. Content analysis: an introduction to its methodology. Newbury Park, CA, 1980.
7. Stuster J. Behavioral issues associated with long-duration space expeditions: review and analysis of astronaut journals: experiment 01-E104 (Journals) // National Aeronautics and Space Administration, Johnson Space Center, 2010.
8. Satir V. Peoplemaking // Palo Alto, Science and Behavior Books, 1972.
9. Гущин В.И., Юсупова А.К., Швед Д.М. и др. Методологические подходы к контент-анализу общения космического экипажа // Авиакосм. и экол. мед. 2016. Т. 50. № 3. С. 55–64.
Gushchin V.I., Yusupova A.K., Shved D.M. et al. Methodological approaches to content-analysis of spacecrew communication // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2016. V. 50. № 3. P. 55–64.
10. Gushchin V.I., Yusupova A.K., Shved D.M. et al. The evolution of methodological approaches to the psychological analysis of the crew communications with Mission Control Center // REACH-Reviews in Human Space Exploration. 2016. № 1. P. 74–83.
11. Мясников В.И., Степанова С.И., Сальницкий В.П. и др. Проблема психической астенизации в длительном космическом полете. М., 2000.
Myasnikov V.I., Stepanova S.I., Salnitskiy V.P. et al. Problem of mental asthenia in long-term space flight. Moscow, 2000.
12. Palinkas L.A., Suedfeld P. Psychological effects of polar expeditions // *The Lancet.* 2008. V. 371 (9607). P. 153–163.
13. Bechtel R.B., Berning A. The third-quarter phenomenon: do people experience discomfort after stress has passed? // *From Antarctica to outer space: life in isolation and confinement / A.A. Harrison, Y.A. Clearwater, C.P. McKay, eds.* New York, 1991. P. 261–266.
14. Kanas N., Salnitskiy V., Gushchin V. et al. Asthenia – does it exist in space? // *Psychosomatic medicine.* 2001. V. 63. № 6. P. 874–880.
15. Plutchik R. Emotions and life: Perspectives from psychology, biology, and evolution // *American Psychological Association,* 2003.
16. Kanas N.A., Feddersen W.E. Behavioral, psychiatric, and sociological problems of long-duration space missions. NASA Technical Memorandum (TM X-58067). NASA Manned Spacecraft Center. Houston, 1971.
17. Kanas N. Humans in space. New York, 2015.
18. Козеренко О.П., Следь А.Д., Мирзаджанов Ю.А. Психологическая поддержка экипажей // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. М., 2001. Т. 1. С. 365–377.
Kozerenko O.P., Sled A.D., Mirzadzhanov Yu.A. Crews' psychological support // *Orbital station «Mir». Space biology and medicine.* Moscow, 2001. V. 1. P. 365–377.
19. Basner M., Dinges D.F., Mollicone D.J. et al. Psychological and behavioral changes during confinement in a 520-day simulated interplanetary mission to Mars // *PLoS One.* 2014. V. 9 (3). P. e93298.

Поступила 14.02.2018

PRELIMINARY RESULTS OF SPACE EXPERIMENT «CONTENT»

Yusupova A.K., Shved D.M., Gushchin V.I., Supolkina N.S., Chekalkina A.I.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 3. P. 28–37

Space experiment «Content» was performed to test quantitative content-analysis of crew contacts with the Mission control center (MCC) personnel as an objective method of operational remote evaluation of crew-members' psychophysiology, as well as in-group and intergroup (crew-MCC) interactions. Methodology of the experiment is largely based on the concept that communicative behavior manifests the individual coping strategies. These strategies are considered to be effective or ineffective in context of their input to the success in activities which are very often dependent on the quality of intergroup communication. In the experiment, the focus has been laid on how a variety of factors including mission duration, occurrence of a significant event,

problem situation or change in crew composition impact crew oral communication. The results lend credence to the concept of the final breakthrough and reveal a trend toward more frequent manifestations of the third fourth phenomenon as mission duration extends to a year. Problem situations may increase the number of diagnostically meaningful ineffective coping strategies, and also the number of effective coping strategies favorable to mission accomplishment despite pressures and challenges. The observation that a change

of status within the crew modifies the stile, length and frequency of contacts with MCC confirms the conception of commander being the crew «mouthpiece». Acquisition and systematization of the array of documented crew statements together with identification and description of important speech phenomena provide the grounds for automation of crew-MCC contacts content-analysis.

Key words: remote psychological monitoring, crew communication, content-analysis, space experiment.

УДК 612-06/04

СТРУКТУРА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЛЕТЧИКОВ-КОСМОНАВТОВ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ ЛЕТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Захаров С.Ю., Руденко Е.А., Новикова О.Н., Баранов М.В.

Научно-исследовательский институт космической медицины Федерального научно-клинического центра ФМБА России, Москва

E-mail: docsu@mail.ru

Рассмотрена структура заболеваемости летчиков-космонавтов, завершивших летную деятельность. Сбор медицинских данных осуществлялся в рамках программы углубленного медицинского обследования космонавтов «Долголетие». Проведен анализ структуры заболеваемости по возрастным группам.

Ключевые слова: космонавты, заболеваемость, возрастные группы.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 3. С. 38–41.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-3-38-41

Надежность и безопасность пилотируемых космических программ реализуются не только благодаря совершенствованию технических систем и систем управления, но и развитию системы медицинского обеспечения здоровья, работоспособности космических экипажей, включая их профессиональное долголетие. Эта система направлена на сохранение и поддержание здоровья и работоспособности космонавтов на всех этапах их профессиональной деятельности.

Однако системный подход к оценке влияния факторов космического полета (КП) на здоровье человека невозможен без анализа отсроченных эффектов КП на организм космонавта.

После завершения летной деятельности сбор медицинских данных у космонавтов со стороны специалистов по космической медицине прекращается, и поэтому отследить отсроченное влияние факторов КП на организм космонавтов невозможно. Поэтому данных о состоянии здоровья космонавтов после прекращения летной деятельности у медиков, занимающихся медицинским обеспечением КП, недостаточно.

С целью изучения состояния здоровья космонавтов, завершивших летную деятельность, и оценки наличия у них «отсроченных эффектов» КП разработан проект специальной программы медицинского обследования. Программа под названием «Долголетие» стартовала в 2013 г. в НИИ космической медицины ФГБУ ФНКЦ ФМБА России. Проект программы включает консультации специалистов и

углубленное обследование с применением современных методов диагностики и лечения, направленных на выявление, коррекцию и профилактику нарушений в состоянии здоровья [1].

Проведение периодических углубленных медицинских обследований и последующий анализ их результатов позволят выявить наиболее уязвимые для неблагоприятных факторов КП системы организма человека и обратить особое внимание на состояние этих систем на этапе отбора кандидатов в космонавты, улучшить систему медицинского обеспечения пилотируемых полетов.

Методика

Проведено углубленное обследование 26 летчиков-космонавтов в возрасте от 50 до 88 лет, завершивших летную деятельность. Все обследованные в силу своей профессиональной деятельности принимали участие в различных по длительности космических экспедициях, при этом некоторые проводили работы в открытом космосе. Космонавты были распределены на группы в соответствии с возрастной периодизацией, принятой на VII Всесоюзной конференции по проблемам возрастной морфологии, физиологии и биохимии 1965 г. [2].

Обследованных космонавтов распределили по 3 группам согласно указанной периодизации. В группе 2-го зрелого возраста до 60 лет оказались 8 человек (группа А), в группе пожилого возраста от 61 до 74 лет – 9 человек (группа В), в группе старческого возраста от 75 до 90 лет – 9 человек (группа С).

Клинические диагнозы были закодированы согласно официальной рубрики Международной классификации болезней 10-го пересмотра (МКБ-10).

Структура заболеваемости космонавтов представлена в виде лепестковых диаграмм, на которых по осям представлена частота встречаемости заболеваний данной группы в процентах к общему числу обследованных космонавтов.

Результаты и обсуждение

В группе А у всех обследуемых диагностированы болезни органов пищеварения (БОП) и болезни мочеполовой системы (БМПС) (рис. 1). Далее по распространенности занимают болезни костно-мышечной системы (БКМС), эндокринной системы (БЭС) и глаза (БГ) – 88 % обследованных. Болезни системы кровообращения (БСК) и органов дыхания (БОД) диагностированы у 75 % обследованных, а заболевания уха у 63 %. Психические и поведенческие расстройства проявляются единичным случаем. Новообразования, болезни кожи и подкожной клетчатки (БКИПК), симптомы, признаки и отклонения от нормы (СПОН), выявленные при клинических и лабораторных исследованиях, а также некоторые инфекционные и паразитарные заболевания (НИИПЗ) в этой группе не встречались.

На рис. 2 представлены заболевания, которыми страдают летчики-космонавты в группе пожилого возраста. Основным отличием структуры заболеваемости в данной группе является выход на первые позиции болезней системы кровообращения, которыми в данной возрастной группе страдают 100 % обследованных лиц. Болезни органов пищеварения также выявлены у всех обследованных. Болезни мочеполовой системы беспокоят 89 % летчиков-космонавтов. Заболевания костно-мышечной системы, болезни глаз обнаружены у 78 %. 67 % обследованных космонавтов имеют болезни эндокринной системы. Болезни органов дыхания и болезни уха в этой группе в 2 раза ниже, чем в группе А, и составляют 44 и 33 % соответственно. Причину снижения частоты заболеваний по этим нозологиям определить сложно. Возможно, это связано с небольшим количеством обследованных в группах и индивидуальными особенностями, не компенсирующимися размером выборки. При подробном анализе структуры БОД обращает на себя внимание примерно одинаковое количество случаев воспалительных заболеваний верхних дыхательных путей (ринит, синусит, фарингит и бронхит) в обеих возрастных группах. Дополнительные случаи БОД в группе А связаны с хроническими обструктивными болезнями легких, ассоциированными с курением.

Относительно болезней уха можно только выдвинуть предположение, что большая частота встречаемости нейросенсорной тугоухости в группе А связана с большей длительностью полетов в этой группе и более длительным воздействием повышенного уровня шума на орбитальной станции. Для уточнения этого предположения необходима существенно большая по объему выборка обследованных лиц и проведение подробного эпидемиологического анализа факторов их жизни, неблагоприятных по заболеваниям слухового аппарата.

Кроме указанных выше отличий в группе В появились новообразования, болезни кожи и подкожной

клетчатки, инфекционные и паразитарные заболевания, но в единичных случаях. Психические и поведенческие расстройства, а также отклонения от нормы, выявленные при исследовании крови, в данной группе не встречались.

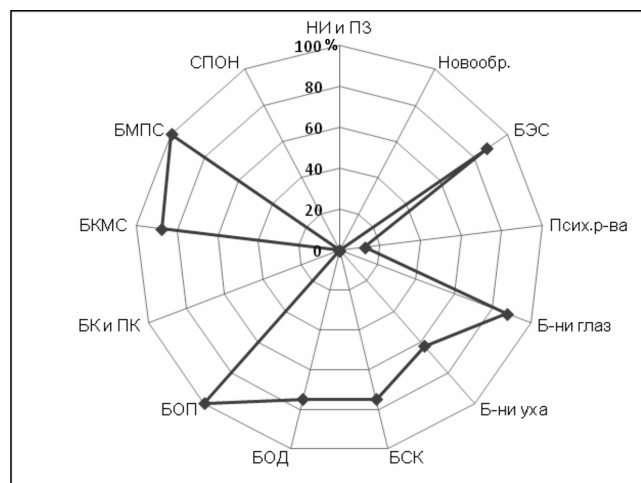


Рис. 1. Структура заболеваемости космонавтов 2-го зрелого возраста.

Здесь и на рис. 2–3: НИИПЗ – некоторые инфекционные и паразитарные заболевания; Новообр. – новообразования; БЭС – болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ; Псих. р-ва – психические расстройства и расстройства поведения; Б-ни глаза – болезни глаз и его придаточного аппарата; Б-ни уха – болезни уха и сосцевидного отростка; БСК – болезни системы кровообращения; БОД – болезни органов дыхания; БОП – болезни органов пищеварения; БКИПК – болезни кожи и подкожной клетчатки; БКМС – болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани; БМПС – болезни мочеполовой системы; СПОН – симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях, не классифицируемые в других рубриках

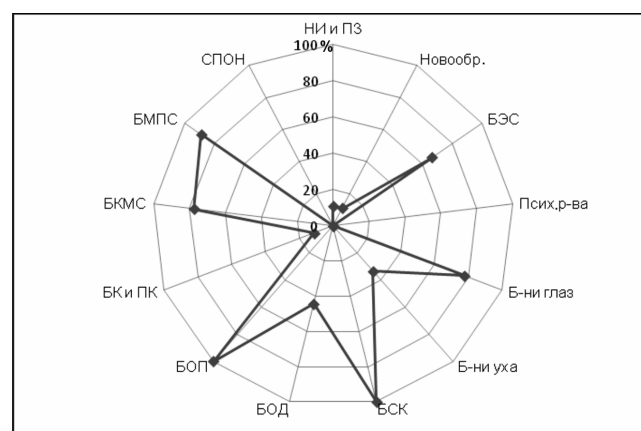


Рис. 2. Структура заболеваемости космонавтов пожилого возраста

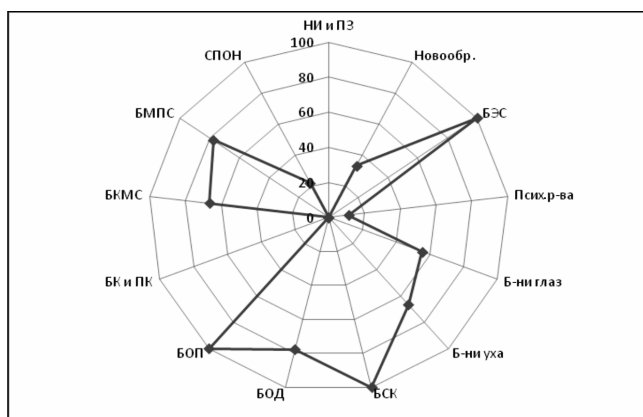


Рис. 3. Структура заболеваемости космонавтов старческого возраста

На рис. 3 представлена структура общей заболеваемости у летчиков-космонавтов старческого возраста. У всех обследованных диагностированы болезни системы кровообращения, органов пищеварения, эндокринной системы. Болезни органов дыхания и мочеполовой системы обнаружены у 78 % обследованных. Заболевания костно-мышечной системы и болезни уха – у 67 %. Офтальмологическая патология выявлена у 56 % летчиков-космонавтов. У 33 % ранее диагностированы и пролечены новообразования. Симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях, у 22 %. Все космонавты в данной группе перенесли различной степени сложности оперативные вмешательства. Обращает на себя внимание, что по поводу глазных болезней прооперированы 44 %, а по поводу болезней мочеполовой системы – 66 %. Вероятнее всего, этим можно объяснить снижение частоты болезней глаз и мочеполовой системы в данной возрастной группе. Отмечен единичный случай психических и поведенческих расстройств. Болезни кожи и подкожной клетчатки, а также некоторые инфекционные и паразитарные заболевания в этой группе летчиков-космонавтов не отмечены.

Таким образом, структура заболеваемости космонавтов этих 3 возрастных групп близка к структуре заболеваемости жителей г. Москвы (данные Департамента здравоохранения г. Москвы за 2012–2016 гг.) [3]. На 1-м месте по частоте возникновения находятся болезни системы кровообращения. Более низкий процент этих заболеваний в группе А может быть связан со строгим медицинским отбором в отряд космонавтов. Этот эффект нивелируется у более возрастных космонавтов групп В и С.

100%-ная заболеваемость болезнями органов пищеварения среди всех 3 обследованных групп космонавтов объясняется углубленным диагностическим поиском и проведением эндоскопических

методов обследования у всех космонавтов. Охват эндоскопическими методами диагностики населения Москвы существенно меньше. Это позволило выявить патологию, протекающую со стертой симптоматикой или бессимптомно: гастриты и гастродуодениты, гастроэзофагеальный рефлюкс, дивертикулярную болезнь кишечника и полипы толстой кишки.

От более молодой группы А до группы С, в которую входят обследованные старческого возраста прослеживается закономерная тенденция к росту количества нозологий у каждого космонавта, выявлению новообразований, увеличению количества проведенных оперативных вмешательств. Сокращение количества глазных болезней и болезней мочеполовой сферы в группе С (старческий возраст) также связано с большим количеством проведенных оперативных вмешательств в указанных областях.

Проведение корреляционного анализа заболеваемости космонавтов с воздействием неблагоприятных факторов КП при таком количестве обследованных затруднительно и требует как увеличения количества обследуемых космонавтов, так и более детального анализа условий их КП. Тем не менее большой процент заболеваний слухового аппарата, особенно в группе А (2-й зрелый возраст), может быть связан с повышенным уровнем шума на борту орбитальных станций. Это предположение основано на том, что в состав групп В и особенно С вошли космонавты участвовавшие в менее длительных экспедициях.

Выводы

1. Программа углубленного обследования летчиков-космонавтов, завершивших летную деятельность, дает возможность получать наиболее полную информацию о состоянии здоровья космонавтов на протяжении всей жизни.
2. Для повышения эффективности данной программы и оценки отсроченного неблагоприятного действия факторов полета на организм человека необходимо не только привлекать к участию в программе максимально возможное количество космонавтов, но и начинать обследование непосредственно после увольнения космонавта из отряда.
3. Регулярные повторные обследования позволяют отслеживать динамику уже выявленных патологических процессов и своевременно диагностировать новые заболевания.
4. Корреляционный анализ заболеваемости с индивидуальными программами полетов позволит оценить значение отдельных факторов полета в развитии той или иной патологии.

Список литературы

1. Баранов М.В. и др. Программа медицинского обследования космонавтов, завершивших летную деятельность // Медицина экстремальных ситуаций. 2016. № 1 (55).
Baranov M.V. et al. Medical examination of cosmonauts who completed their flight activity // Meditsina ekstremal'nykh situatsiy. 2016. № 1 (55).
2. Ванесян А.С. Антропология: Учеб. пос. М.; Берлин, 2015.
Vanesyan A.S. Anthropology: Tutorial. Moscow; Berlin, 2015.
3. Сандаков Я.П. Заболеваемость взрослого населения города Москвы неинфекционными болезнями // Пермский мед. журнал. 2017. Т. 34. № 3. С. 72–77.
Sandakov Ya.P. Morbidity rate of adult population of Moscow with noninfectious diseases // Permskiy meditsinskiy zhurnal. 2017. V. 34. № 3. P. 72–77.

Поступила 21.12.2017

**STRUCTURE OF MORBIDITY AMONG
PILOT-COSMONAUTS OF VARYING
AGE-GROUPS AFTER FLYING CAREER
COMPLETION**

**Zakharov S.Yu., Rudenko E.A., Novikova O.N.,
Baranov M.V.**

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).
2018. V. 52. № 3. P. 38–41

Under consideration is the structure of morbidity among pilot-cosmonauts who completed their flying career. Medical data were collected under the auspices of the program of profound medical examination of cosmonauts called Longevity. Morbidity structure was analyzed in each age group.

Key words: cosmonauts, morbidity, age groups.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СКАФАНДРА «СОКОЛ»

Митрикас В.Г.

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

E-mail: vg_mit@imbp.ru

Рассмотрены возможности использования полетного скафандра типа «Сокол» в качестве дополнительной радиационной защиты от космических ионизирующих излучений. Представлено сравнение уровней радиационного воздействия для представительных точек фантома человека в пилотируемом транспортном корабле (ПТК) «Союз» и в отсеке большого диаметра служебного модуля Международной космической станции. Показано, что снижение поглощенных доз за счет использования скафандра может достигать в ПТК «Союз» 35–44 % при воздействии на кожу и чуть более 2 % при воздействии на центральную нервную систему.

Ключевые слова: космическая ионизирующая радиация, поглощенные и тканезквивалентные дозы, солнечные протонные события.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 3. С. 42–47.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-3-42-47

Основная задача обеспечения радиационной безопасности пилотируемых полетов в космическом пространстве – снижение воздействия ионизирующего излучения на экипаж до уровня, не превышающего установленные нормы радиационной безопасности космических полетов [1]. Основными контролируемыми параметрами радиационного воздействия являются:

- эффективная доза;
- эквивалентная доза на хрусталик;
- эквивалентная доза на кожу.

При разработке технического проекта пилотируемого транспортного корабля нового поколения (ПТК НП) в части обеспечения радиационной безопасности возник вопрос: что могут сделать космонавты, если во время полета корабля в межпланетном пространстве возникла мощная солнечная протонная вспышка? В качестве ответа было предложено космонавтам надеть полетные скафандры. При этом возникает следующий вопрос: какова защитная эффективность скафандра?

Цель исследования: оценка эффективности полетного скафандра в качестве дополнительной защиты от космических ионизирующих излучений.

Методика

Для разработки модели защищенности космонавта полетным скафандром были использованы фотографии, представленные в работе [2]. За основу был взят скафандр типа «Сокол», который состоит из силовой (наружной) и герметичной (внутренней) оболочек. Силовая оболочка принята состоящей из капрона с плотностью 1,17 г/см³. Герметичная оболочка принята состоящей на 70 % из капрона и на 30 % из резины, итоговая массовая плотность 1,08 г/см³. Толщина каждой оболочки была принята равной 1 мм. Шлем скафандра моделирован трехосным эллипсоидом из алюминий-магниевого сплава с плотностью 2,65 г/см³. Передняя часть шлема моделирована также трехосным эллипсоидом, но состоящим из оргстекла с плотностью 1,18 г/см³. При этом передняя часть остекления имеет толщину 2 мм, а боковая толщина 1,5 мм. Без учета шлангов для подачи воздуха и кабелей управления выносным вентилятором суммарная масса скафандра получилась равной 8,1 кг.

Радиационно-защитные характеристики используемых материалов определялись в соответствии с рекомендациями [3], согласно которым учет изменения тормозящих свойств одного вещества по отношению к другому веществу производится введением коэффициента эквивалентности, равного отношению величин ионизационных потерь в этих веществах при энергии протонов 50 МэВ:

$$\gamma_k = \frac{S_k(E_0)}{S_{Al}(E_0)}$$

где $S_k(E_0)$ и $S_{Al}(E_0)$ – ионизационные потери протонов в данном веществе и в алюминии при энергии протонов $E_0 = 50$ МэВ.

Ионизационные потери рассчитывались аналогично работе [4]. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Модель скафандра строилась в соответствии с рекомендациями, приведенными в работе [5], и представляет собой последовательность зон

Таблица 1

Некоторые характеристики использованных материалов

№	Вещество	Состав	S(50) МэВ/г/см ²	γ_k
1	Сплав АМг-6	Al (+0,6% Mg)	9,495	1,000
2	Силовая оболочка (капрон)	-HN(CH ₂) ₅ CO-	12,41	1,307
3	Герметичная оболочка (70 % капрон + 30 % резина)	{-HN(CH ₂) ₅ CO-} + (CH ₂) ₁₄ (CH)(C ₂ H ₂)S ₆	12,22	1,287
4	Оргстекло	(C ₅ O ₂ H ₈) _n	12,13	1,278

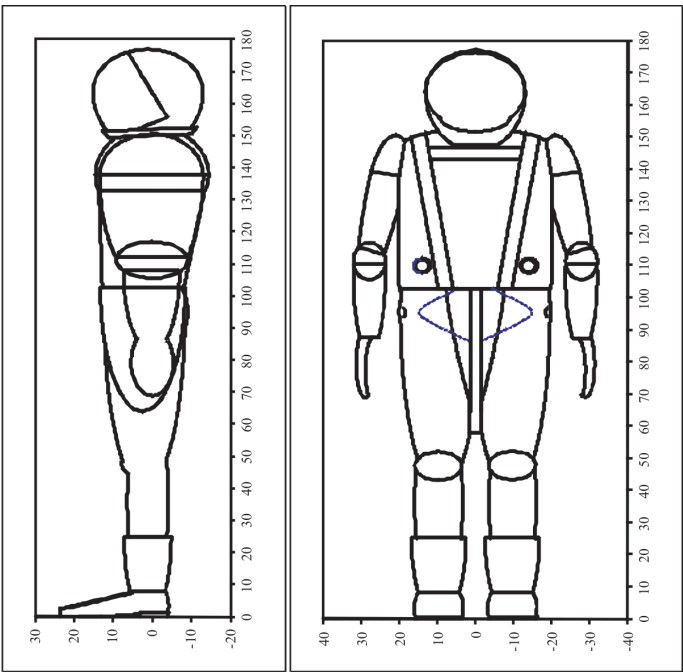


Рис. 1. Модель скафандра «Сокол». Здесь и на рис. 2–3: размеры даны в см

– областей пространства, ограниченных со всех сторон поверхностями 1-го или 2-го порядка. Внутри каждой зоны размещено вещество одной плотности. Всего модель включает 140 зон, определенных с помощью 208 поверхностей. На рис. 1 представлена модель скафандра в 2 проекциях.

Для оценки эффективности защитных свойств скафандра была использована геометрическая модель фантома [6], модифицированная таким образом, чтобы можно было менять положение конечностей фантома, в частности, в плечевом и локтевом суставах. Расчет функций экранированности представительных точек антропоморфного фантома проведен согласно ГОСТу 25645.203 [7].

Поскольку ПТК НП к настоящему времени не создан, в качестве транспортного корабля была использована модель корабля «Союз». Такая модель построена по аналогичной схеме. На рис. 2 представлены сечения модели в продольной плоскости и на рис. 3 – в поперечном сечении спускаемого аппарата.

Расчеты функций экранированности проведены для совмещения модели корабля «Союз», фантома геометрического и скафандра «Сокол».

Фантом в скафандре размещался в спускаемом аппарате. При этом рассмотрены 4 пространственных положения фантома в скафандре: лицом по оси OX; лицом по оси OY; лицом против оси OX; лицом против оси OY.

Под функцией экранированности выбранной точки внутри рассматриваемого объекта понимается функция плотности вероятности встретить в любом направлении из рассматриваемой точки толщину защиты в интервале от X до X + dX.

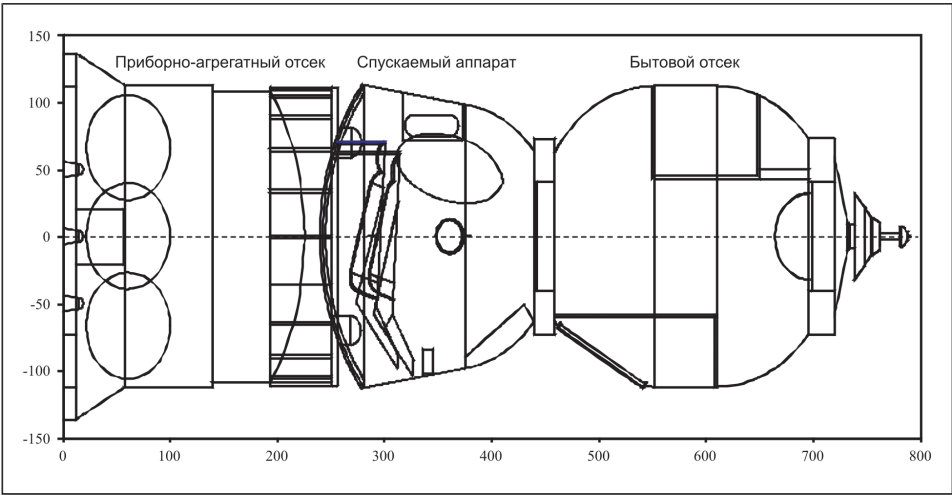


Рис. 2. Продольное сечение модели корабля «Союз»

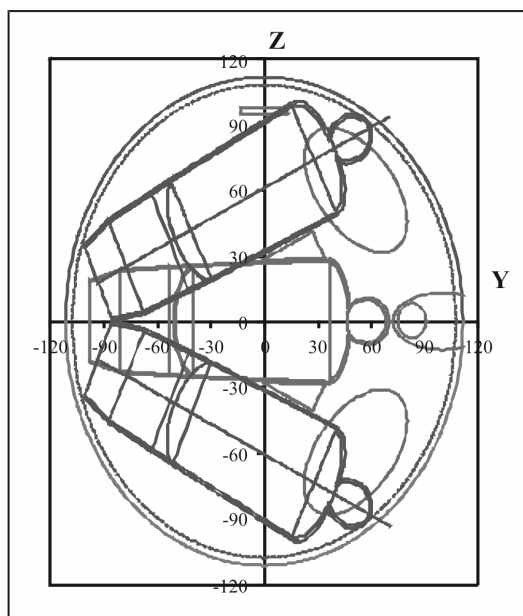


Рис. 3. Поперечное сечение спускаемого аппарата модели корабля «Союз»

В качестве функции экранированности для хрусталика глаза (ХГ) использована средняя по 4 ориентациям и по 2 хрусталикам функция. Аналогичным способом определялись функции экранированности для кожи (КЖ – 2 точки), для кроветворной системы (КТС – 14 точек), для желудочно-кишечного тракта (ЖКТ – 3 точки) и центральной нервной системы (ЦНС – 5 точек). Функция экранированности для кроветворной системы (КТС) вычислялась с учетом процентного содержания красного костного мозга в каждой представительной точке. Вид результирующих функций представлен на рис. 4.

Результаты и обсуждение

Во время полета Международной космической станции (МКС) Службе радиационной безопасности удалось измерить уровни радиационного воздействия (УРВ) в ложементх некоторых транспортных кораблей как отношение мощности поглощенной дозы в выбранной точке к мощности поглощенной дозы на панели № 327 служебного модуля (СМ) МКС. Среднее по всем измерениям значение уровня радиационного воздействия оказалось равным $1,83 \pm 0,37$. Определенный вклад в увеличение этого значения вносит γ -источник мягкой посадки. С другой стороны, необходимо иметь в виду, что ПТК типа «Союз» были состыкованы с МКС, которая экранировала их от ионизирующих излучений. При стыковке американских кораблей типа «Шаттл» с МКС среднесуточная мощность поглощенной дозы в европейском модуле «Коламбус» падала на $\sim 27\%$. После отстыковки «Шаттлов» мощность поглощенной дозы

возвращалась к исходному уровню. С учетом сделанных замечаний можно ожидать, что в расчетах для самостоятельного полета кораблей типа «Союз» будет получено значение среднесуточной мощности поглощенной дозы в 2 с лишним раза превышающее аналогичное значение для МКС.

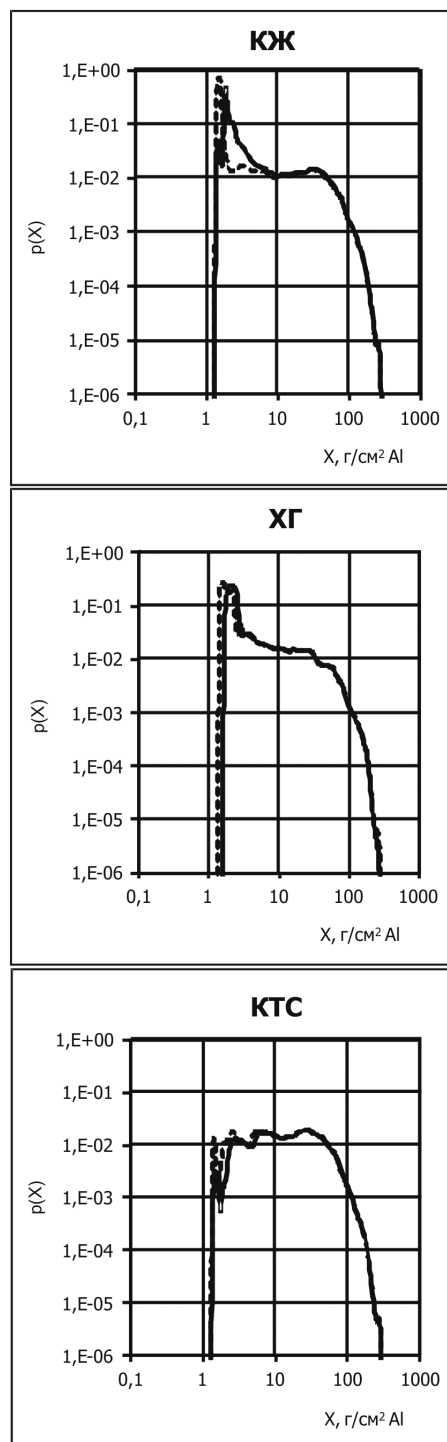


Рис. 4. Функции экранированности отдельных систем фантома в скафандре (сплошные кривые) и без скафандра (пунктирные кривые)

Таблица 2

Сравнение среднесуточной мощности поглощенной дозы (мкГр/сутки) в представительных точках фантома в ПТК «Союз» и в рабочем отсеке большого диаметра СМ МКС

№	Локация фантома	КЖ	ХГ	КТС	ЦНС	ЖКТ
1	Фантом в ПТК «Союз»	711,0	739,4	342,4	401,9	307,1
2	Фантом в скафандре в ПТК «Союз»	588,0	661,7	324,3	388,6	299,5
3	Фантом в РОБД СМ МКС	294,1	311,9	230,5	252,0	239,8
4	Отношение дозы в строке 1 к строке 3	2,42	2,37	1,49	1,60	1,28
5	Отношение дозы в строке 2 к строке 3	2,00	2,12	1,41	1,54	1,25

Таблица 3

Эквивалентные дозы в мЗв за все СПС в представительных точках фантома в ПТК «Союз» и в рабочем отсеке большого диаметра СМ МКС

СПС	Локация фантома	КЖ	ХГ	КТС	ЦНС	ЖКТ
1989 г., 3 сут	Фантом в ПТК «Союз»	83,14	77,06	14,09	17,00	10,92
	Фантом в скафандре в ПТК «Союз»	53,41	76,27	12,63	16,59	9,64
	Фантом в РОБД СМ МКС	10,35	10,46	4,14	5,06	3,74
2003 г., 4 сут	Фантом в ПТК «Союз»	21,89	17,94	2,61	2,46	1,95
	Фантом в скафандре в ПТК «Союз»	12,22	17,15	2,08	2,21	1,48
	Фантом в РОБД СМ МКС	1,59	1,45	0,48	0,54	0,43

Таблица 4

Эквивалентные дозы в мЗв за все СПС в представительных точках фантома в ПТК «Союз» и в рабочем отсеке большого диаметра СМ МКС в период полета к Луне

СПС	Локация фантома	КЖ	ХГ	КТС	ЦНС	ЖКТ
1989 г., 3 сут	Фантом в ПТК «Союз»	955,08	894,26	171,69	167,55	131,46
	Фантом в скафандре в ПТК «Союз»	608,48	668,58	143,72	155,60	119,07
	Фантом в РОБД СМ МКС	118,68	112,56	59,94	61,01	72,43
2003 г., 4 сут	Фантом в ПТК «Союз»	1467,03	1267,77	156,61	107,57	105,78
	Фантом в скафандре в ПТК «Союз»	792,56	836,10	116,36	96,46	88,40
	Фантом в РОБД СМ МКС	88,08	71,63	30,66	24,89	44,17
2005 г., 6 сут	Фантом в ПТК «Союз»	148,82	145,61	36,83	40,56	29,81
	Фантом в скафандре в ПТК «Союз»	103,84	116,10	32,42	38,23	27,87
	Фантом в РОБД СМ МКС	27,56	27,80	16,18	17,48	18,40

Расчеты были выполнены для орбиты МКС в августе 2017 г. Фантом размещался в спускаемом аппарате над ложементами. Сначала рассматривался простой фантом, затем фантом в скафандре. Среднесуточная мощность поглощенной дозы определялась для всех представительных точек фантома: КЖ, ХГ, КТС, ЦНС, ЖКТ. Расчеты проводились аналогично работе [8]. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что полетный скафандр типа «Сокол» снижает мощность поглощенной дозы на 17,3 % для кожи и на 2,5 % для желудочно-кишечного тракта.

Особый интерес представляет собой рассмотрение радиационного воздействия от солнечных

протонных событий (СПС). В отличие от предыдущих источников космической радиации, здесь необходимо рассматривать тканеэквивалентные дозы. В табл. 3 представлены результаты расчетов для наиболее мощных СПС от 19.10.1989 г. и от 28.10.2003 г.

Из анализа результатов табл. 3 видно, что скафандр существенно снижает величины эквивалентных доз, но при этом уровни радиационного воздействия в ПТК «Союз» существенно превышают соответствующие значения в МКС.

Гендиректор РКК «Энергия» Владимир Солнцев отметил, что он и его коллеги рассматривают «Союз» как самое оптимальное транспортное средство для адаптации под нужды космического туризма и

межпланетных путешествий [9]. Интересно рассмотреть направление такой адаптации. Если бы ПТК «Союз» совершал полет к Луне и во время полета произошли бы СПС типа 1989, 2003 и 2005 гг., для этих вспышек потоки протонов с энергией больше 30 МэВ за все событие составили $2,1 \cdot 10^9$ прот. см⁻², характеристическая жесткость 107 МВ; $3,1 \cdot 10^9$ прот. см⁻² и характеристическая жесткость 82 МВ; $3,8 \cdot 10^8$ прот. см⁻² и характеристическая жесткость 132 МВ. В таких случаях космические туристы получили бы дозы радиационного воздействия, представленные в табл. 4.

В данном случае необходимо напомнить, что предельно допустимая доза однократного воздействия, согласно работе [1], составляет 150 мЗв для костного мозга, т.е. для КТС. Даже для полета продолжительностью 30 сут предел допустимой дозы для хрусталика составляет 500 мЗв, который будет превышен даже для туриста в скафандре для первых двух вспышек. Из представленных результатов напрашиваются два пути адаптации ПТК «Союз» к межпланетным путешествиям: существенное усиление радиационной защиты корабля или существенное повышение надежности прогноза возникновения СПС, чтобы планировать полет в период отсутствия СПС.

В период эксплуатации первых орбитальных станций («Салют», «Мир») высказывалось предложение об использовании спускаемого аппарата ПТК «Союз» в качестве радиационного убежища при возникновении мощных СПС. Результаты данной работы наглядно показывают, что, по крайней мере, для МКС такое предложение вряд ли является оптимальным. Рабочий отсек большого диаметра (РОБД) СМ МКС защищен от радиации существенно лучше, чем спускаемый аппарат ПТК «Союз».

Выводы

Полетный скафандр типа «Сокол» вполне допустимо использовать в качестве дополнительной защиты от ионизирующих излучений, в частности, от протонов СПС. Снижение поглощенных доз за счет использования скафандра может достигать в ПТК «Союз» 35–44 % при воздействии на кожу и чуть более 2 % при воздействии на центральную нервную систему.

Работа выполнена в рамках плана фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН по теме № 65.2 и при финансовой поддержке РКК «Энергия» по договору № 16-03-930 от 27.12.2016 г.

Список литературы

1. Ограничение облучения космонавтов при околоземных космических полетах (ОКОКП-2004). Методические указания МУ 2.6.1.44-03-2004. М., 2004.

Limiting the exposure of astronauts in near-earth space missions (LEANESM-2004). Methodical instruction MI 2.6.1.44-03-2004. Moscow, 2004.

2. <https://yandex.ru/images/search?text=скафандр+сокол&type>

3. ГОСТ 25645.208. Методические указания. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Методика расчета поглощенной и эквивалентной доз от протонов космических лучей за защитой. М., 1986.

GOST 25645.208. The safety of radiation crew of the spacecraft in space flight. Method for calculating the absorbed and equivalent doses from protons of cosmic rays behind the shield. Moscow, 1986.

4. РД 50-25645.206. Методические указания. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Методика расчета ионизационных потерь и пробегов тяжелых заряженных частиц. М., 1985.

RD 50-25645. Methodical instructions. The safety of radiation crew of the spacecraft in space flight. Method for calculating the ionization losses and ranges of heavy charged particles. Moscow, 1985.

5. ГОСТ 25645.204. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Методика расчета экранированности точек внутри фантома. М., 1983.

GOST 25645.204. The safety of radiation crew of the spacecraft in space flight. Method of shielding calculation for the points in the phantom. Moscow, 1983.

6. Бондаренко В.А., Митрикас В.Г. Модель геометрического фантома человека для расчета тканевых доз в служебном модуле Международной космической станции // Авиакосм. и экол. мед. 2007. Т. 39. № 1. С. 34–39.

Bondarenko V.A., Mitrikas V.G. The model of geometrical human body phantom for calculating tissue doses in the service module of the International space station // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2007. V. 39. № 1. P. 34–39.

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

GOST 25645.203. The radiation safety of spacecraft crew in space flight. The human body model for calculating tissue dose. Moscow, 1984.

8. Митрикас В.Г. Оценка эффективных доз ионизирующей радиации экипажей МКС методом расчетного моделирования // Авиакосм. и экол. мед. 2015. Т. 49. № 3. С. 5–11.

Mitrikas V.G. Estimation of ionizing radiation effective doses in the International space station crews by the method of calculation modeling // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2015. V. 49. № 3. P. 5–11.

9. <https://nation-news.ru/276928-rossiya-obyasnila-pochemu-korabl-soyuz-idealno-dlya-kosmicheskogo-turizma>.

Поступила 01.12.2017

MODELING OF RADIATION PROTECTION CAPABILITY OF SPACESUIT «SOKOL»

Mitrikas V.G.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).
2018. V. 52. № 3. P. 42–47

*To evaluate flight spacesuit «Sokol» as an additional
shelter from space ionizing radiation, exposure levels of*

*human phantom representative points inside transport
vehicle «Soyuz» and the large-diameter compartment
of the ISS service module were compared. It was found
that inside the transport vehicle spacesuit «Sokol» is
capable to reduce absorbed doses received by the skin
and nervous system by 35–44 % and slightly more than
2 % respectively.*

Key words: space ionizing radiation, absorbed and tissue-
equivalent doses, solar proton event.

УДК 613.693+331.43/.45

ПОЛЕТНЫЙ МОНИТОРИНГ РЕЖИМА ТРУДА И ОТДЫХА КОСМОНАВТОВ: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

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

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

E-mail: ssi@imbp.ru

Статья посвящена ретроспективному анализу данных полетного мониторинга режима труда и отдыха (РТО) российских членов экипажей Международной космической станции (МКС). Перечислены конкретные направления анализа, рассмотрено их содержание, проведена оценка уровня сверхнормативной занятости членов экипажей МКС, представлено доказательство негативного влияния напряженного РТО на психическое состояние и результаты деятельности космонавтов, подтверждена значимость действующих требований к организации труда и отдыха человека в космосе.

Ключевые слова: режим труда и отдыха (РТО), полетный мониторинг, напряженность РТО, количественные оценки РТО, качество деятельности, сверхнормативная занятость.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 3. С. 48–53.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-3-48-53

В системе медицинских мероприятий, направленных на обеспечение здоровья и работоспособности участников космических полетов, большое значение имеет мониторинг режима труда и отдыха (РТО), основными задачами которого являются:

- регистрация всевозможных отклонений от требований к рациональной организации труда и отдыха;

- оценка влияния таких отклонений на самочувствие космонавтов, в необходимых случаях – составление рекомендаций, адресованных руководству полетами, с указанием необходимых мероприятий по текущей оптимизации РТО участников полета;

- выдача медицинских заключений о готовности членов экипажа к продолжению полета по намеченной программе, в том числе к выполнению особо ответственных операций, таких, как внекорабельная деятельность (ВКД).

В 1973 г. на базе московского Центра управления полетами (ЦУП) была создана ныне действующая Главная оперативная группа управления (ГОГУ), составной частью которой стала Группа медицинского обеспечения (ГМО). С этого времени в составе ГМО,

помимо других специалистов, работают эксперты, осуществляющие полетный мониторинг РТО членов экипажей.

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

Данные ежедневных наблюдений суммируются в еженедельных заключениях, завершаемых общим выводом о возможности продолжения полета. Накануне выполнения каждого очередного сеанса ВКД проводится анализ РТО космонавтов, которые будут осуществлять выход в открытый космос, с учетом данных не только текущего периода, но и предшествующих недель полета. На основе такого анализа выносится заключение о допуске этих лиц к предстоящей операции.

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

Однако интерес к полученным данным по завершении очередной космической экспедиции не утрачивается. В послеполетный период эти данные подвергаются ретроспективному анализу. Прежде всего, такой анализ позволяет рассмотреть каждую неделю полета с точки зрения напряженности РТО. Напряженным считается такой РТО, который несет с собой опасность снижения работоспособности вследствие утомления, обусловленного чрезмерно высокими рабочими нагрузками и нарушениями распорядка сна. Используются детализированные оценки, соответствующие 4 уровням напряженности [1]. В тех случаях, когда напряженностью отмечены все дни полетной недели, дается оценка «напряженный» РТО. Такая оценка соответствует самому высокому уровню напряженности. Если

признаки напряженности отмечаются в течение 3–4 дней, а остальные дни недели остаются более или менее благополучными, используется оценка «частично напряженный» РТО. В случае эпизодических проявлений напряженности на фоне штатного распорядка РТО оценивается как «штатный с элементами напряженности». И наконец, если РТО целиком и полностью соответствует нормативным требованиям полетной документации, он оценивается как «штатный». При формировании оценок напряженности учитываются жалобы членов экипажа на чрезмерную занятость и ухудшение сна.

Такой подход позволяет:

- количественно (в процентах) распределять полетные недели в зависимости от уровня их напряженности и на основе такого распределения сравнивать между собой различные полеты;
- определять, с какими конкретными видами работ связана напряженность РТО и насколько такая связь является закономерной, т.е. насколько регулярно она воспроизводится от одного полета к другому;
- выявлять недостатки в планировании рабочих операций, приводящие к тому, что плановое время, отводимое на выполнение заданий, оказывается намного меньше, чем это требуется в действительности (такое планирование в отечественной литературе получило название хронодефицитного; американские специалисты называют его *overplanning* – избыточное планирование); понимать причины и следствия хронодефицитного планирования, находить пути и способы его устранения;
- подсчитывать количество плановых и внеплановых отклонений от штатного распорядка сна (сдвигов сна), допущенных в ходе каждого конкретного полета; определять величину и направление сдвигов (по или против часовой стрелки); оценивать динамику этих показателей в многолетних рядах выполняемых полетов;
- обобщать предъявляемые космонавтами субъективные свидетельства отрицательного влияния избыточных рабочих нагрузок и сдвигов сна на количественные и качественные характеристики, на самочувствие и работоспособность;
- рассматривать возможные мероприятия, направленные на профилактику и купирование негативных последствий сдвигов сна, с точки зрения целесообразности их использования в условиях космического полета.

В процессе ретроспективного анализа данных мониторинга РТО была разработана шкала экспертных оценок, в основу которой был заложен принцип перевода описательных (словесных) характеристик РТО в количественные показатели (баллы), начисляемые за каждый случай отклонения от требований к рациональной организации труда и отдыха.

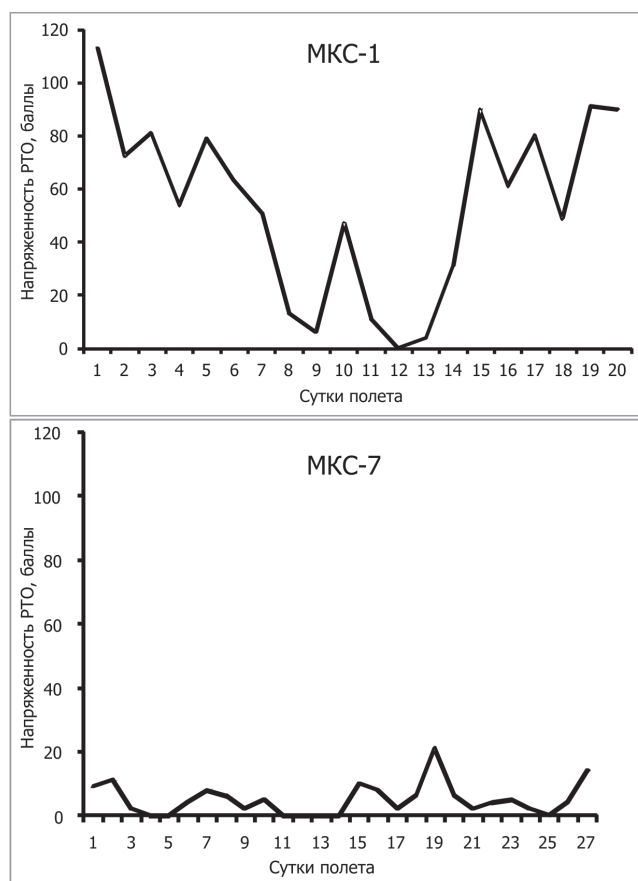


Рис. 1. Динамика напряженности РТО космонавтов в процессе полета МКС-1 и МКС-7

При начислении баллов учитываются характер и степень этих нарушений, а также сопутствующие объективно регистрируемые и субъективно отмечаемые признаки ухудшения состояния членов экипажа. Суммарное количество баллов, набранных за неделю, представляет собой количественную оценку напряженности РТО: чем больше сумма баллов, тем выше уровень напряженности.

Метод количественных экспертных оценок позволил, во-первых, графически представлять результаты полетного мониторинга в виде кривых, характеризующих динамику напряженности РТО в ходе полета (т.е. визуализировать эту динамику), и, во-вторых, подвергать полученный материал статистическому анализу. Это важно потому, что данные, предъявляемые в графической и цифровой форме, часто воспринимаются как более доказательные в сравнении со словесными аргументами. Иначе говоря, графики и цифры выглядят убедительнее слов, достоверность которых многие считают сомнительной.

Более подробно этот метод и некоторые результаты его практического применения описаны в работах [2, 3]. Графический пример представлен на рис. 1, на котором отчетливо видна разница в уровне напряженности РТО в полетах МКС-1 и МКС-7.

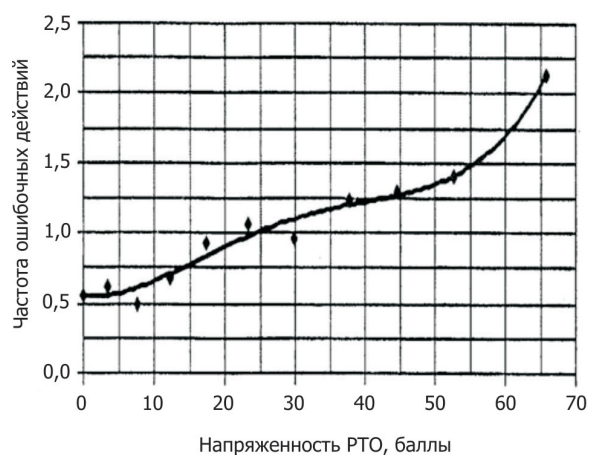


Рис. 2. Зависимость частоты ошибочных действий экипажа от напряженности РТО.

Сплошная линия – аппроксимация полиномом 4-го порядка

Проведенный корреляционный анализ данных, полученных на орбитальной станции «Мир», подтвердил негативное влияние избыточных рабочих нагрузок и нарушений распорядка сна на состояние космонавтов, их самочувствие, качество сна и утомляемость. Такое влияние было обнаружено в 10 из 14 рассмотренных экспедиций и подтверждено статистически значимыми величинами коэффициента корреляции в диапазоне от 0,428 до 0,935 [3].

Связь качества операторской деятельности с уровнем напряженности РТО изучалась в ходе полетного эксперимента «Пилот», выполняя который космонавты имитировали сложные задачи ручного управления пространственным перемещением космического корабля [4]. Показатели скорости и точности управления сопоставлялись с количественными оценками РТО. Выяснилось, что одни операторы работали с преимущественной установкой на точность, а другие – на скорость. Напряженность РТО отрицательно влияла на эти показатели. Заметнее всего это влияние отражалось на тех сторонах деятельности, которые не соответствовали индивидуальной установке, т.е. на тех, которые оператор считал второстепенными и не выделял как наиболее ценные.

Полученные в этом исследовании данные имеют не только прикладное, но и общенаучное значение. Уже на протяжении многих лет делаются попытки оценивать состояние участников космических полетов по результатам тестовой операторской деятельности. Есть все основания считать, что низкая продуктивность по этим тестам может быть связана как с внешними обстоятельствами в виде всякого рода помех, так и с внутренними факторами в виде недостаточной мотивации или сильного утомления.

Точно так же, как хорошие результаты операторской деятельности могут быть достигнуты за счет высокой мотивации, настойчивости и напряженных усилий, приводящих к успеху даже в состоянии утомления, заболевания и т.п. Поэтому низкий уровень операторской продуктивности не является обязательным свидетельством психологического или физического неблагополучия, а высокий уровень этой продуктивности не может рассматриваться как безусловное доказательство отсутствия утомления или проблем со здоровьем. Для правильной интерпретации получаемых данных нужна уверенность в том, что оператор мотивирован к выполнению тестового задания. Как показывает опыт выполнения космического эксперимента «Пилот», тестовая деятельность протекает на высоком мотивационном уровне тогда, когда она обеспечивает тренировку профессионального навыка реализации конкретных полетных операций, которыми космонавт должен владеть в совершенстве на протяжении всего полета.

С помощью балльных оценок РТО была доказана зависимость количества разнообразных ошибочных действий, допускаемых членами экипажа в ходе полета, от степени напряженности РТО [2–7]. Согласно этим данным, более высокой напряженности соответствует большее число ошибок (рис. 2).

Метод количественных экспертных оценок применим не только к РТО, но и к данным полетного мониторинга психического состояния, проводимого экспертами-психоневрологами ГМО ГОГУ. В процессе мониторинга фиксируются все доступные дистанционному наблюдению признаки неблагополучия: жалобы на ухудшение сна и самочувствия, сонливость в рабочее время; субъективные оценки РТО как напряженного; объективные признаки неустойчивости настроения; негативные эмоциональные реакции; наличие критических замечаний по широкому кругу вопросов; ошибки в профессиональной деятельности; конфликты с наземными службами. Эти данные также подвергаются ретроспективному анализу, предусматривающему перевод текстовой информации в балльные оценки [2]. Принцип начисления баллов тот же, что и в случае РТО: чем выше балл, тем хуже обстоит дело с психическим состоянием.

С помощью корреляционного анализа балльных оценок в 12 из 15 рассмотренных полетов на МКС были получены доказательства связи психического состояния космонавтов с напряженностью РТО. В абсолютном большинстве случаев высокая напряженность сочеталась с худшими показателями психического состояния, в то время как низкому уровню напряженности соответствовали лучшие показатели психического состояния членов экипажей (при статистически значимых величинах коэффициента корреляции от 0,381 до 1,000) [8].

Как уже было указано, одним из факторов, приводящих к формированию напряженности полетного РТО, являются избыточные рабочие нагрузки космонавтов с увеличением фактической продолжительности рабочего периода сверх номинала или, что то же самое, сверх норматива (указанный номинал составляет 6,5 ч в рабочий день и 1 ч в выходной; все, что выше этого, является сверхнормативной работой) за счет сокращения отдыха, сна, времени, отводимого на приемы пищи и физические тренировки, личного времени, а также за счет частичной или полной занятости выходных дней. Избыточные (сверхнормативные) рабочие нагрузки могут быть как плановыми (сопровождающими, например, внекорабельную деятельность), так и дополнительными к плану (сверхплановыми), связанными с нештатными ситуациями или другими видами деятельности, не отраженными в ежесуточных планах.

Используя данные мониторинга РТО, можно рассчитать временные показатели, соответствующие еженедельному суммарному объему плановых и дополнительных работ, выполненных каждым участником полета. Если из этой суммы вычесть недельный норматив рабочего времени (34,5 ч), получим объем сверхнормативной занятости в неделю (из которого нетрудно вывести средний показатель ежедневной сверхнормативной занятости). Положительный знак этой разности подтверждает факт сверхнормативной работы, отрицательный знак означает наличие резервного времени, которое могло бы быть использовано в рамках нормативного лимита, т.е., другими словами, занятость ниже нормативного лимита.

Расчеты, выполненные применительно к ряду полетов (экспедиции МКС-1–15, МКС-26/27–39/40), показали, что:

- российские члены экипажей МКС работали с превышением нормативного лимита рабочего времени;
- в среднем по группе полетов МКС-26/27–39/40 величина ежедневной сверхнормативной нагрузки 1 космонавта составляла 0,5 ч, а в некоторых полетах достигала 50–60 мин;
- попытки планирования полетных заданий ниже нормативного лимита в целях получения резерва времени для внеплановых работ могут быть успешными при условии небольшого объема внеплановых заданий и ограниченного использования сверхнормативного планирования;

В процессе анализа данных мониторинга РТО российского участника 340-суточного полета выяснилось, что при осуществлении космических экспедиций длительностью около 1 года и более необходимо распределять ежемесячную рабочую нагрузку членов экипажей с учетом сезонной периодичности жизненных функций организма. Ничего подобного

в отечественной пилотируемой космонавтике до сих пор не было.

Главный результат полетного мониторинга РТО российских космонавтов состоит в том, что на его основе были получены дополнительные аргументы в пользу действующих требований к рациональной организации труда и отдыха человека в космосе. Ранее эти требования базировались на результатах анализа литературных данных, теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в нашей стране в 60–80-е годы XX столетия [9–11]. Сегодня их важность подтверждена многолетним опытом полетного мониторинга РТО, показавшим, что отклонения от требований к РТО заключают в себе потенциальную опасность ухудшения состояния членов экипажей, падения работоспособности и увеличения количества ошибочных действий.

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

В заключение необходимо подчеркнуть, что роль экспертов ГМО не ограничивается решением текущих задач полетного контроля РТО. Эксперты по РТО принимают активное участие в обеспечении ретроспективного анализа данных мониторинга не только тем, что они поставляют исходный материал, но и тем, что принимают участие в обработке этого материала, выполняя трудоемкие расчеты сверхнормативной занятости членов экипажей и вычисления, связанные со сдвигами сна. При этом они не являются банальными исполнителями рутинных операций. Эксперт по РТО знаком с научными и прикладными проблемами космической медицины. Ему важно понимать значение рациональной организации труда и отдыха для поддержания здоровья и работоспособности участников космических полетов. Фундаментально образованный эксперт сможет увидеть в полученном материале то, чего не заметят его менее подготовленные коллеги.

Хочется надеяться, что отечественный опыт осуществления мониторинга РТО будет использован в процессе будущих межпланетных полетов и при организации труда и отдыха обитателей инопланетных баз. Конкретные особенности мониторинга РТО в этих условиях пока трудно себе представить. Возможно, что обязанность проведения такого

мониторинга будет возложена на врача экипажа, которому придется систематически направлять данные текущего мониторинга специалистам наземной группы медицинского обеспечения. Они будут подвергать эти данные углубленному анализу с выдачей необходимых рекомендаций. Не исключено, что в этом деле им сможет помочь опыт ретроспективного анализа, полученный ранее в околоземных орбитальных полетах.

Выводы

1. Информационный ресурс российской системы полетного мониторинга РТО не исчерпывается интересами текущего наблюдения за особенностями организации труда и отдыха космонавтов в процессе полета.

2. Ретроспективный анализ данных полетного мониторинга РТО дает возможность выявлять типичные проблемы, присущие многим полетам, определять их причины и обращать внимание на необходимость устранения обнаруженных недочетов.

3. Многолетний опыт полетного мониторинга РТО подтвердил важность действующих требований к рациональной организации труда и отдыха человека в космосе.

4. Принятые в отечественной космонавтике способы мониторинга РТО и ретроспективного анализа его результатов могут найти применение при осуществлении межпланетных полетов и организации жизни обитателей инопланетных баз.

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

Список литературы

1. Степанова С.И., Карпова О.И., Галичий В.А. и др. Режим труда и отдыха космонавтов в полетах Международной космической станции 22/23-39/40 // *Авиакосм. и экол. мед.* 2016. Т. 50. № 1. С. 7–12.

Stepanova S.I., Karpova O.I., Galichiy V.F. et al. Inflight work-rest regime of cosmonauts on the International space station // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2016. V. 50. № 1. P. 7–12.

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

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

3. Степанова С.И., Нестеров В.Ф., Сараев И.Ф. и др. Организация труда и отдыха // *Орбитальная станция «Мир»*. Т. 1. М., 2001. С. 334–365.

Stepanova S.I., Nesterov V.F., Saraev I.F. et al. Work-rest organization // *Orbital station «Mir»*. V. 1. Moscow, 2001. P. 334–365.

4. Сальницкий В.П., Дудукин А.В., Савченко Э.Г. и др. Результаты операторской деятельности в космическом полете (эксперимент «Пилот») при различных режимах труда и отдыха космонавтов // *Авиакосм. и экологическая медицина*. 2012. Т. 46. № 5. С. 19–25.

Salnitskiy V.P., Dudukin A.V., Savchenko E.G. et al. The results of operator activity in spaceflight (the Pilot experiment) under various work-rest schedules of cosmonauts // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2012. V. 46. № 5. P. 19–25.

5. Нечаев А.П., Мясников В.И., Степанова С.И. и др. Некоторые аспекты психофизиологического анализа ошибочных действий космонавтов // Там же. 1998. Т. 32. № 3. С. 11–18.

Nechaev A.P., Myasnikov V.I., Stepanova S.I. et al. Some aspects of psychophysiological analysis of cosmonauts' erroneous actions // *Ibid.* 1998. V. 32. № 3. P. 11–18.

6. Нечаев А.П. Взаимосвязь ошибочных действий космонавтов, их психофизиологического состояния и особенностей режима труда и отдыха // Там же. 1999. Т. 33. № 4. С. 9–12.

Nechaev A.P. Interrelation of cosmonauts' erroneous actions of their psychophysiological state and of work-rest schedule // *Ibid.* 1999. V. 33. № 4. P. 9–12.

7. Nechaev A.P. Work and rest planning as a way of crew member error management // *Acta Astronaut.* 2001. V. 49. P. 271–278.

8. Степанова С.И., Савченко Э.Г., Лаврентьева И.Н. и др. Психическое состояние членов экипажей МКС // *Международная космическая станция. Российский сегмент*. Т. 2. Медико-биологические исследования на российском сегменте МКС. М., 2011. С. 175–188.

Stepanova S.I., Savchenko E.G., Lavrentieva I.N. et al. The mental state of the ISS crew members // *International space station. Russian segment*. V. 2. Medical and biological investigations on Russian segment of the ISS. Moscow, 2011. P. 175–188.

9. Алякринский Б.С. Основы научной организации труда и отдыха космонавтов. Москва, 1975.

Alyakrinskiy B.S. The basics of scientific organization of cosmonaut's work and rest. Moscow, 1975.

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

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

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

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

Поступила 17.11.2017

**IN-FLIGHT MONITORING OF
COSMONAUTS' WORK AND REST CYCLE:
RETROSPECTIVE DATA ANALYSIS AND
INFORMATION SOURCES**

**Stepanova S.I., Koroleva M.V., Nesterov V.F.,
Galichiy V.A., Karpova O.I.**

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).
2018. V. 52. № 3. P. 48–53

*The article presents retrospective analysis of the data
obtained by in-flight monitoring of the work and rest cycle*

*(WRC) of the ISS Russian crewmembers. The authors list
the concrete elements of analysis, score crew overworks,
provide evidence for the negative effect of strenuous WRC on
cosmonauts' mental state and efficiency, and reaffirm validity
of the crew time management rules and constraints.*

Key words: work and rest cycle (WRC), in-flight
monitoring, WRC intensity, WRC quantitative scores, work
quality, overwork.

УДК 613.693:616.8-085.851

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СПЕЦИАЛЬНЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ И ИДЕОМОТОРНЫХ УПРАЖНЕНИЙ ДЛЯ ПСИХОКОРРЕКЦИИ АДАПТАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ У ЛЕТНОГО СОСТАВА

Иванов И.В.^{1, 2}, Желтый О.П.^{3, 4}, Ищенко П.В.¹

¹Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава РФ (Сеченовский университет)

²Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва

³12-й Консультационно-диагностический центр Минобороны России, Москва

⁴Филиал Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, Москва

E-mail: ivanov-iv@yandex.ru

В ходе обследования летного состава были выделены контрольная группа (здоровые) и группа риска преневротических нарушений с показателями снижения резервов психической адаптации к летной деятельности. При применении восстановительных мероприятий, включающих комплекс личностно-ориентированной рациональной психотерапии в сочетании с курсом холотропного дыхания (дыхательных и идеомоторных упражнений), установлена эффективность комплекса для психокоррекции преневротических нарушений у летного состава. Использование метода холотропного дыхания путем достижения изменяемых форм сознания позволяет корректировать ригидные доминантные психические состояния, нарушающие смысловые стороны мотивации к летному труду и деформирующие типологию поведения личности. Тем самым достигается восстановление адаптационного потенциала личности летчика в целом.

Ключевые слова: авиационная медицина, летный состав, адаптационный потенциал личности, преневротические нарушения, психокоррекция, холотропное дыхание.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 3. С. 54–61.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-3-54-61

В последнее десятилетие наблюдается существенное усложнение как авиационной техники, так и учебно-боевых задач с повышением напряженности труда летного состава [1–5]. В связи с этим возрастает роль авиационной и космической медицины, которая наряду с традиционными задачами профилактики болезней и лечения призвана вносить все больший вклад в психофизиологическое сопровождение учебно-боевой деятельности летного состава [1, 6–8]. Перед специалистами медицинской службы Воздушно-космических сил РФ стоят сложные и социально значимые задачи сохранения профессионального здоровья летчиков и поддержания у них необходимого уровня психической адаптации.

В условиях повышенных нагрузок на организм летчиков существенное влияние на работоспособность и стрессоустойчивость оказывает их функциональное состояние (ФС). Значению и оценке ФС лиц опасных профессий посвящен ряд работ [1, 6, 9], причем акцентируется внимание на необходимость исследования личностных особенностей, адаптационных резервов и донозологической диагностики для выявления лиц из категории риска, со сниженными показателями ФС [9–12]. Такие исследования проводятся в период стационарного прохождения летчиками врачебно-летной комиссии в госпитальных условиях. Одновременно выполняются мероприятия по лечению и реабилитации летного состава медикаментозными средствами, методами массажа, лечебной физкультуры, физио-, бальнеологическими и другими процедурами. Из психокоррекционных техник используются преимущественно методики личностно-ориентированной рациональной психотерапии. Однако остаются без коррекции скрытые изменения, в основе которых лежат подсознательные механизмы нарушений адаптации к окружающему миру, в том числе к профессиональной деятельности.

Это требует от врачей авиационной и космической, восстановительной медицины изыскания новых подходов к донозологической диагностике, а также совершенствования методического арсенала психопрофилактической и психокоррекционной работы, для снижения уровня психосоматических заболеваний у летного состава, повышения его профессиональной работоспособности. Благоприятные эффекты психокоррекции показаны при использовании техник расширенного состояния сознания, в том числе холотропной терапии [13–16]. Изучены ее механизмы [16, 17], однако оценка эффективности данного метода для восстановления ФС летного состава не проводилась. В связи с вышеизложенным актуальность исследования обусловлена

Таблица

**Методики экспресс-диагностики функционального состояния,
применяемые в ходе обследования летного состава**

№ п/п	Методика (ПАК)	Регистрируемые показатели	Краткое описание
1	Электрозональная рефлексодиагностика АМСАТ	Регистрация электрокожного сопротивления зон ступней, кистей рук и лобной области	Оценка функционального состояния организма человека и степени дисфункций на разных уровнях системной организации по характеристикам биокинематической цепи «позвоночник – конечности» в графическом, диалоговом и верифицированном режимах
2	Электропунктурная диагностика ДИАКОМС	Регистрация электрокожного сопротивления биологически активных точек кистей рук (6 пар) и стоп (6 пар)	Оценка функционального состояния органов и систем организма по методу НАКАТАНИ по «репрезентативным» измерениям потенциала в характерных точках меридианов
3	Компьютерная ритмометрия	Регистрация и анализ R-R-интервалов по электрокардиограмме	Оценка функционирования сердечно-сосудистой, нейрогуморальной систем и степени вегетативной обеспеченности организма по характеристикам пульса и расчетным вегетативным индексам

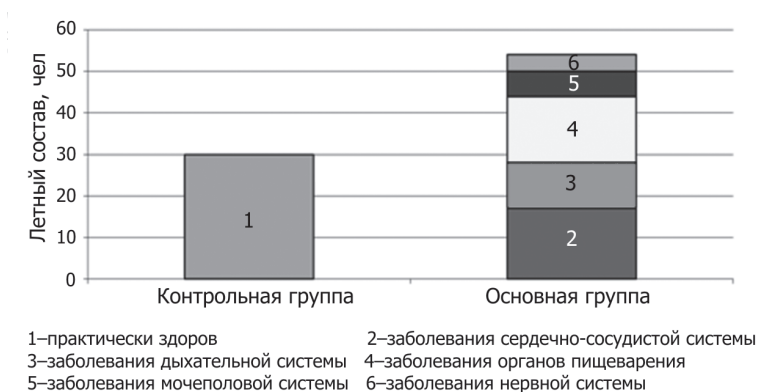


Рис. 1. Характеристики контрольной и основной групп летного состава

необходимостью повышения эффективности психокоррекционных мероприятий для восстановления ФС летного состава после интенсивной учебно-боевой деятельности.

Целью работы явилось обоснование необходимости проведения скрининга преневротических нарушений у летного состава, сопровождающихся снижением адаптационного потенциала личности, и оценка применения метода холотропного дыхания для их психокоррекции.

Методика

Изучено состояние здоровья у 84 человек – мужчин 24–42 лет из числа летного состава со стажем работы от 5 до 23 лет, проходивших плановую врачебно-летную комиссию 1 раз в 2 года. Все обследуемые были разделены на две группы: контрольная группа – 30 человек, из числа здоровых лиц, не имевших диагноза, которые не проходили курс психотерапевтических мероприятий, и основная

группа – 54 человека с парциальной недостаточностью состояния здоровья, для которых в дальнейшем проводились медицинские восстановительные мероприятия, включая метод специальных дыхательных и идеомоторных упражнений (холотропное дыхание).

У лиц из основной группы в анамнезе имелись факторы риска преневротических нарушений и были установлены следующие заболевания (рис. 1):

- сердечно-сосудистой системы – 31,5 %;
- дыхательной системы – 20,4 %;
- органов пищеварения – 29,6 %;
- мочеполовой системы – 11,1 %;
- нервной системы – 7,4 %.

К ранним стадиям преневротических расстройств по клиническим критериям МКБ-10 относили отдельные проявления реакций на стресс и нарушения адаптации (F43), а также неврастении (F48.0), в том числе в виде астеновегетативных симптомов.

При психофизиологическом обследовании летчиков использовали методики оценки личностной и ситуативной тревожности Спилбергера – Ханина, тест оценки самочувствия, активности и настроения (САН), тест Люшера, применяли диагностические методы (таблица), основанные на компьютеризированных программно-аппаратных комплексах (ПАК) для рефлексодиагностики – аппаратно-программной графической донозологической топической экспресс-оценки функционального состояния человека АМСАТ (Автоматизированная Медицинская Система Анализа и Терапии), электропунктурной диагностики (ДИАКОМС), а также компьютерной ритмометрии.

По данным тестов САН, Люшера и методик экспресс-диагностики определялся индекс риска преневротических нарушений и делался вывод об уровне функционально-психологических возможностей

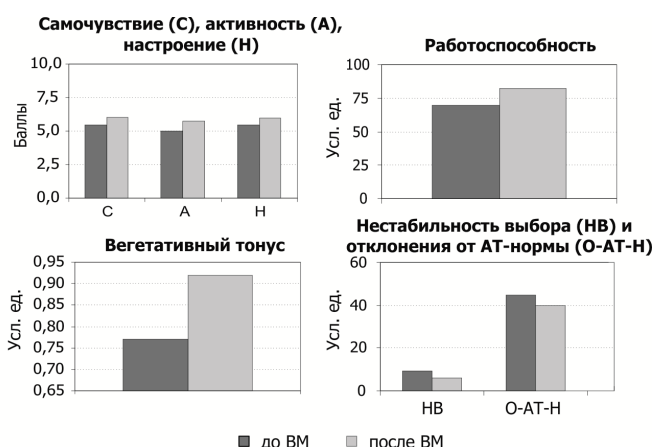


Рис. 2. Динамика показателей методики САН и теста Люшера у летчиков основной группы до и после курса медицинских восстановительных мероприятий

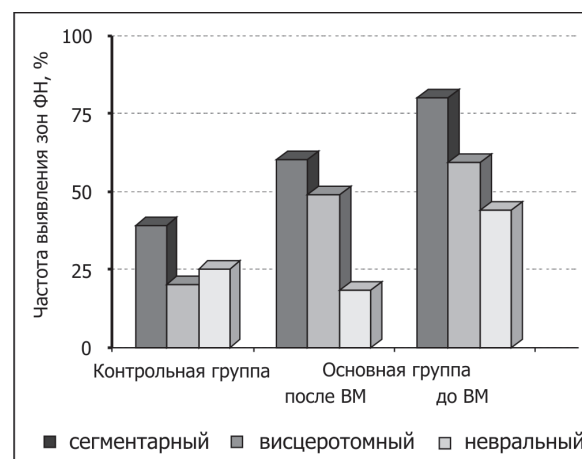


Рис. 3. Изменение уровней функционального напряжения по зонам анализа (сегментарный, висцеротомный, невральный) ПАК АМСАТ в контрольной и основной группах летного состава

и снижения резервов психической адаптации у летного состава.

Для оценки уровня работоспособности оценивали показатели интеллектуального компонента профессионально важных качеств летчика с помощью комплекса тестов информационно-стрессовой нагрузочной пробы «Экспедиция», разработанной специалистами ГНИИИ военной медицины Минобороны России и основанной на тестировании оператора в состоянии совмещенной деятельности (при одновременном выполнении нескольких задач в стрессовых условиях).

Обследование с использованием психологических тестов, методик экспресс-диагностики и оценки уровня работоспособности проводили до и сразу после курса восстановительных мероприятий (ВМ). Оно проводилось с соблюдением принципов биоэтики и на условиях Информированного согласия всех обследуемых.

В качестве медицинских восстановительных мероприятий в основной группе наряду с традиционными методами личностно-ориентированной рациональной психотерапии были применены методы групповой психокоррекции с использованием измененного состояния сознания, достигаемого путем сеансов холотропного дыхания – специальных дыхательных и идеомоторных (воображаемых) упражнений (с мысленным представлением и «проигрыванием» целенаправленных действий) в состоянии релаксации – 10 сеансов по 45 мин, проводимых с 2-дневными интервалами [18].

Результаты и обсуждение

У всех обследуемых основной группы в анамнезе установлены факторы риска преневротических нарушений. В качестве предрасполагающих факторов

снижения резервов психической адаптации к летной деятельности выступали неблагоприятные условия формирования личности (неустойчивые семейные отношения, в том числе у родителей, воспитание в неполной семье, межличностные конфликты и др.). В профессиональной сфере у них были отмечены снижение мотивации, неверие в перспективы профессионального роста, отсутствие должной организации служебной деятельности. В социальной сфере часто наблюдалась переоценка жизненных ценностей, в семейной – конфликты, нарушения сексуальных отношений и репродуктивной функции, что требовало применения медико-психологических восстановительных методов.

При проведении психодиагностического обследования были выявлены прогностические возможности для выявления риска преневротических расстройств по показателям методик оценки личностной и ситуативной тревожности, эмоциональной лабильности, результаты которых свидетельствуют о высокой вероятности хронического характера переживаемых индивидом трудностей адаптации. Такой подход позволяет включать обследуемых в группу риска при всех неблагоприятных изменениях черт личности, выявляемых с помощью теста Спилбергера – Ханина, а также ухудшения показателей самочувствия, активности, настроения и работоспособности, оцениваемых с помощью теста САН и цветового теста Люшера. Характерными признаками для отбора в группу риска при оценивании психологом по тесту Люшера являются:

- преобладание трофотропного тонуса, указывающего на доминирование парасимпатической нервной системы и возможное снижение энергетических компонентов психической деятельности, что обуславливает потребность в покое;

- снижение показателя работоспособности при положительном значении коэффициента активности;
- значимое отклонение от аутогенной нормы.

Следствием воздействия социальных факторов риска при индивидуальных особенностях личности становится формирование деформирующих типологию поведения личности ригидных доминантных психических состояний, разрушающих самооценку смысловых сторон мотивации к летному труду, а тем самым адаптационный потенциал личности летчика в целом. Отсюда вытекают те главные психологические проявления, на которых врачу следует акцентировать внимание при проведении психокоррекции. При этом традиционного метода личностно-ориентированной рациональной психотерапии оказывается недостаточно и могут использоваться дополнительно методики курсовой психокоррекции с использованием холотропного дыхания.

Как видно на рис. 2, после проведения восстановительных мероприятий с использованием холотропного дыхания у летчиков, по данным тестов САН и Люшера, улучшились показатели самочувствия, активности, настроения, возросли работоспособность и вегетативный тонус, снизились значения неустойчивости цветового выбора и отклонений от аутогенной нормы.

Общая картина динамики частоты выявления функционального напряжения по показателям диагностического комплекса АМСАТ по зонам «сегментарный», «висцеротомный» и «невральный» анализы у летчиков основной группы до и после проведения курса восстановительного лечения и в сравнении с контрольной группой представлена на рис. 3. Видно, что количество зон функционального напряжения (ФН) среди лиц основной группы после курса ВМ стало достоверно меньше по сравнению с данными до ВМ и приближалось к показателям контрольной группы: уровни достоверности такого уменьшения составили при оценке «невральной» и «сегментарной» чувствительности $p < 0,01$, при висцеротомном анализе – $p < 0,05$. Это позволяет говорить об эффективности выполненных психотерапевтических воздействий в основной группе.

Оценка уровня работоспособности летчика с помощью комплекса тестов информационно-стрессовой нагрузочной пробы «Экспедиция» показала, что после курса ВМ улучшились показатели интеллектуального компонента профессионально важных качеств (ПВК) летчика. Наибольшие положительные изменения произошли в отношении 2 показателей – надежности восприятия и образного

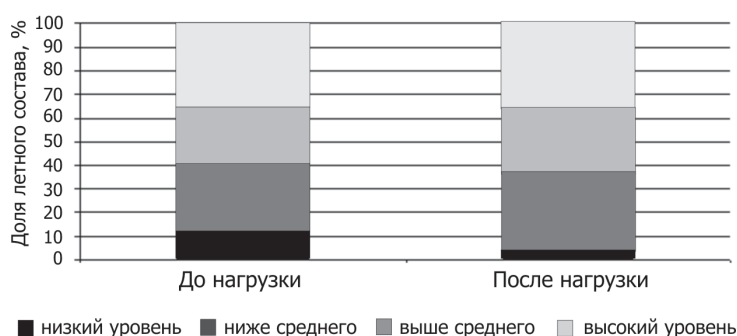


Рис. 4. Показатели нервно-эмоционального напряжения до и после информационно-стрессовой нагрузки теста «Экспедиция» до курса ВМ

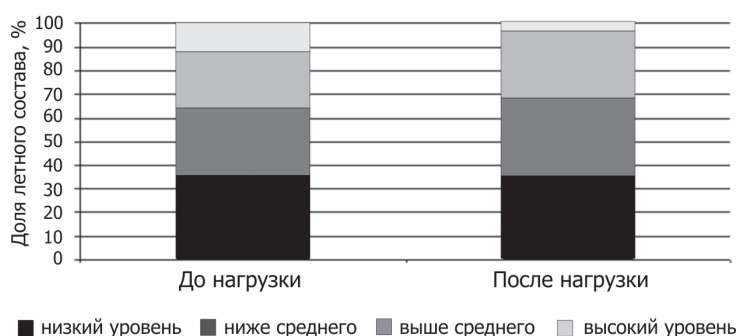


Рис. 5. Показатели нервно-эмоционального напряжения до и после информационно-стрессовой нагрузки по тесту «Экспедиция» после курса ВМ

кодирования ($p < 0,05$): на 30 и 20 % соответственно для этих показателей, увеличилась доля лиц с «высоким» уровнем, а также на 20 и 27 % доля лиц с уровнем «выше среднего».

Сравнение показателей нервно-эмоционального напряжения до и после информационно-стрессовой нагрузки теста «Экспедиция» до курса ВМ (рис. 4) и после курса ВМ (рис. 5) также свидетельствует о положительном эффекте этого курса в сочетании с групповой психокоррекцией. Если до курса ВМ до и особенно после нагрузки преобладала доля лиц с «высоким» и «выше среднего» уровнями нервно-эмоционального напряжения, то после ВМ – в структуре резко увеличилась доля лиц с «низким» и «ниже среднего» уровнями нервно-эмоционального напряжения. Причем после курса ВМ психоэмоциональная нагрузка в процессе совмещенной деятельности не оказывала ухудшающего влияния на психоэмоциональное состояние летчиков.

Можно сделать вывод о продуктивности предложенного сочетанного использования 2 видов коррекции. Личностно-ориентированная рациональная психотерапия важна как коррекционная



Рис. 6. Алгоритм скрининга преневротических нарушений у летного состава, их коррекции и оценки ее эффективности

программа гармонизации и реструктуризации личностных свойств и регуляторов поведения летчика, она ориентирована на развитие рефлексии и сознание рациональных взаимоотношений личности с окружающим миром. В то же время метод специальных дыхательных и идеомоторных упражнений (холотропного дыхания) затрагивает глубокие неосознаваемые структуры поведенческих механизмов регуляции. В комплексе эта программа способствует реализации интегративной модели перестройки ригидно-стереотипного поведения на

основе понимания пациентом своих функциональных возможностей и ограничений при одновременной активизации в ходе групповой методики холотропного дыхания глубинных механизмов саморегуляции волевой, эмоциональной и морально-этической сферы для коррекции самовосприятия и поведения человека в целом.

Для выявления преневротических нарушений у летного состава и их коррекции предлагается следующий алгоритм (рис. 6). Как видно, для комплексной оценки риска преневротических

нарушений у летного состава необходимо использовать скрининговые процедуры для сбора показателей, отражающих:

а) особенности учебно-боевой подготовки и летной деятельности;

б) удовлетворенность условиями жизнедеятельности, мотивационный настрой и выраженность установки на продолжение летной службы;

в) данные диагностических методов экспресс-диагностики, основанных на компьютеризированных программно-аппаратных комплексах;

г) переносимость профессионально ориентированных функциональных нагрузочных проб.

На основе этой информации врачом составляется прогноз риска выявления и прогрессирования невротических нарушений и вегетативных дисфункций, достаточности адаптационного потенциала личности для преодоления внутриличностного конфликта и воспрепятствования ригидному закреплению нерациональных стереотипов поведения.

Получаемые показатели и индексы нарушений функционального состояния могут быть использованы не только для рискометрии преневротических расстройств у летного состава, но и при определении показаний к проведению комплексного курса восстановительных мероприятий.

На основании результатов проведенной психодиагностики с учетом индивидуальных особенностей пациентов важно определить цели, последовательность и особенности применения методов восстановительной терапии с разработкой комплексов восстановительных программ. Выбор методик, последовательность применения, необходимость комбинирования и продолжительность применения ВМ уточнялись с учетом их избирательной эффективности и степени выраженности нарушений у летчика.

В результате проведения восстановительных мероприятий, включающих личностно-ориентированную рациональную психотерапию и психокоррекционный курс холотропного дыхания из 10–12 занятий, в течение 15–30 дней у летчиков удалось добиться положительной динамики психического состояния. Это подтверждалось снижением ситуативной тревожности, нормализацией проявлений эмоционально окрашенных переживаний, ускоренным формированием способности адекватно оценивать собственное психическое состояние и нивелировать негативный эффект поведенческих установок для снижения адаптационного потенциала личности в целом.

Полученные в процессе реабилитации летчиков результаты подтверждают данные других авторов [15, 16, 19] об эффективности данного направления психокоррекции, и в целом положение о том, что оперативное выявление начальных изменений функционального состояния, донологических

проявлений или начальных форм заболеваний с последующим применением современных адекватных и эффективных методов профилактики и восстановления позволяют сохранить здоровье персонала на должном уровне [1, 7, 10–12, 20].

Таким образом, у летного состава с преневротическими расстройствами и проявлениями вегетативных дисфункций в ходе восстановительных и профилактических мероприятий целесообразно сочетать комплекс личностно-ориентированной рациональной психотерапии с медико-психологическими приемами холотропного дыхания для преодоления неосознаваемых психологических механизмов закрепления негативных эмоциональных реакций и поведенческих стереотипов.

Выводы

1. Важность выявления у авиационных специалистов снижения резервов психической адаптации на ранних стадиях обуславливают необходимость проведения скрининга нарушений состояний у летного состава, сопровождающихся снижением адаптационного потенциала личности и их психокоррекции.

2. Для оценки психофизиологического состояния обследуемых летчиков и выделения группы риска преневротических расстройств целесообразно применять комплекс психофизиологических тестов и психодиагностических экспресс-методик.

3. Выбор методик, последовательность применения, необходимость комбинирования и продолжительность применения восстановительных мероприятий необходимо уточнять с учетом их избирательной эффективности и степени выраженности преневротических нарушений у летчика.

4. В выявляемых группах риска применение в ходе восстановительных мероприятий личностно-ориентированной рациональной психотерапии в сочетании с методом холотропного дыхания способствует нивелированию проявлений преневротических нарушений, коррекции стрессогенно обусловленных негативных изменений психофизиологических функций, входящих в систему профессионально важных качеств летчика, и тем самым оказывает значимое положительное влияние на адаптационный потенциал личности летчика в целом.

Список литературы

1. Ждaнко И.М., Исаенков В.Е., Ворона А.А. и др. Профессиональная надежность военного летчика: медицинские и социально-психологические аспекты // Воен.-мед. журн. 2016. Т. 337. № 6. С. 30–36.

Zhdanko I.M., Isaenkov V.E., Vorona A.A. et al. Professional reliability of military pilots: medical and social-psychological

aspects // *Voenno-meditsinskiy zhurnal*. 2016. V. 337. № 6. P. 30–36.

2. Поярков А.М., Скоробулатов А.В., Эбаноидзе М.Д., Перепелица С.С. Опыт оказания экстренной медицинской помощи в условиях вооруженного конфликта в Сирийской Арабской Республике // *Медицина катастроф*. 2017. Т. 97. № 1. С. 56–58.

Poyarkov A.M., Skorobulatov A.V., Ehbanoide M.D., Perepelitsa S.S. Experience of emergency medical care delivery in armed conflict environment in Syrian Arab Republic // *Meditsina katastrof*. 2017. V. 97. № 1. P. 56–58.

3. Писарев А.А., Никифоров Д.А., Зуева Л.В., Маткевич Е.И. Самооценка влияния факторов обитаемости на профессиональную деятельность летного состава палубной авиации в ходе дальнего морского похода // *Современные проблемы военной медицины, обитаемости и профессионального отбора: Матер. Всерос. науч.-практ. конф.* СПб., 2011. С. 102.

Pisarev A.A., Nikiforov D.A., Zueva L.V., Matkevich E.I. Self-assessment of the effect of habitability factors on the professional activities of the deck aviation personnel during the long sea cruise // *Modern problems of military medicine, habitability and professional selection: Materials of the All-Russian scientific and practical conference*. St. Petersburg, 2011. P. 102.

4. Иванов И.В., Чулаевский А.О., Бурмистров В.И. Совершенствование контроля состояния летного состава при подготовке на авиационных пилотажных тренажерах // *Авиакосм. и экол. мед.* 2016. Т. 50. № 2. С. 37–41.

Ivanov I.V., Chulaevsky A.O., Burmistrov V.I. Improvement of flying personnel monitoring in the course of flight simulator training // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2016. V. 50. № 2. P. 37–41.

5. Иванов И.В., Юдин А.Б., Булавин В.В., Писаренко Ю.Э. Характеристика психологического статуса военнослужащих, участвовавших в боевых действиях, и направления коррекции их функционального состояния // *Психофизиология профессионального здоровья человека: Матер. IV Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 15-летию кафедры военной психофизиологии.* СПб., 2012. С. 263–265.

Ivanov I.V., Yudin A.B., Bulavin V.V., Pisarenko Yu.E. Characteristics of the psychological status of servicemen participating in combat operations and the direction of their functional state correction // *Psychophysiology of professional human health: Materials of the IV All-Russian scientific and practical conference, dedicated to the 15th anniversary of the Military Psychophysiology Department*. St. Petersburg, 2012. P. 263–265.

6. Ворона А.А., Глушко А.Н., Сыркин Л.Д., Шакула А.В. Актуальные проблемы психодиагностики в условиях современной армии // *Актуальные проблемы психологического сопровождения профессиональной и учебно-профессиональной деятельности: Матер. III Всерос. науч.-практ. конф.* Коломна, 2017. С. 16–27.

Vorona A.A., Glushko A.N., Syrkin L.D., Shakula A.V. Actual problems of psychodiagnostics in the modern army

// *Actual problems of psychological support of professional and educational activities: Materials of the III All-Russian scientific-practical conference*. Kolomna, 2017. P. 16–27.

7. Бубеев Ю.А., Ушаков И.Б., Кальманов А.С., Котровская Т.И. Медико-психологические аспекты охраны здоровья лиц опасных профессий // *Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики*. М., 2011. С. 228–241.

Bubeev Yu.A., Ushakov I.B., Kal'manov A.S., Kotrovskaya T.I. Medical and psychological aspects of protecting the health of persons of dangerous occupations // *Actual problems of labor psychology, engineering psychology and ergonomics*. Moscow, 2011. P. 228–241.

8. Ушаков И.Б., Рогожников В.А., Поляков М.В. и др. Основы авиационной и космической медицины. М., 2007.

Ushakov I.B., Rogozhnikov V.A., Polyakov M.V. et al. The fundamentals of aviation and space medicine. Moscow, 2007.

9. Пухов В.А., Иванов И.В., Чепур С.В. Оценка функционального состояния организма военных специалистов: Науч.-практ. руководство / И.Б. Ушаков, ред. СПб., 2016.

Pukhov V.A., Ivanov I.V., Chepur S.V. Functional state estimation of military specialists: Theoretical and practical guide / I.B. Ushakov, ed. St. Petersburg, 2016.

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

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

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

Ushakov I.B., Simakova T.G., Zipa O.M. et al. Use of the prenosology approach for attaining the objectives of pilot medical expertise // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2014. № 6. P. 16–22.

12. Разолов Н.А., Рудовский А.А. Способ прогнозирования риска развития психосоматических заболеваний у лиц летного состава и опасных профессий // *Патент на изобретение*. Россия. 2003. № 2201712. МПК: 7А 61В 5/16 А.

Razolov N.A., Rudovskiy A.A. Method for predicting risk of psychosomatic diseases occurrence in aircraft teams and other occupations related to exposure to hazards // *Patent*. Russia. 2003. № 2201712. МПК: 7А 61В 5/16 А.

13. Гроф С. Холотропное дыхание // *За пределами мозга: Рождение, смерть и трансценденция в психотерапии*. М., 1992. С. 270–272.

Grof S. Holotropic breathing // *Outside the brain: birth, death and transcendence in psychotherapy*. Moscow, 1992. P. 270–272.

14. Гроф С. Надличностное видение. Целительные возможности необычных состояний сознания. М., 2002.

Grof S. Transpersonal vision. Healing possibilities of unusual states of consciousness. Moscow, 2002.

15. Козлов В.В. Психотехнологии измененных состояний сознания. Саратов, 2014.

Kozlov V.V. Psychotechnologies of modified states of consciousness. Saratov, 2014.

16. Козлов В.В., Бубеев Ю.А. Измененные состояния сознания. Системный анализ. Саратов, 2014.

Kozlov V.V., Bubeev Yu.A. Modified states of consciousness. System analysis. Saratov, 2014.

17. Бубеев Ю.А., Ушаков И.Б. Механизмы дыхания в условиях длительной произвольной гипервентиляции // Авиакосм. и экол. мед. 1999. Т. 33. № 2. С. 22–26.

Bubeev Yu.A., Ushakov I.B. Mechanisms of breathing under the conditions of prolonged voluntary hyperventilation // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 1999. V. 33. № 2. P. 22–26.

18. Гроф С., Уилбер К., Веховски А., Тарт Ч. Практика холотропного дыхания: Метод. рекомендации для слушателей курса «Трансперсональная психотерапия». М., 2001.

Grof S., Wilber K., Vehovski A., Tart Ch. The practice of holotropic breathing: Methodical recommendations for the students of the course «Transpersonal psychotherapy». Moscow, 2001.

19. Фотина Ю.В. Трансперсональная психотерапия невротических и соматоформных расстройств // Психическое здоровье. 2008. Т. 6. № 7. С. 39–44.

Fotina Yu.V. Transpersonal psychotherapy of neurotic and somatoform disorders // Psikhicheskoe zdorov'e. 2008. V. 6. № 7. P. 39–44.

20. Кальманов А.С., Булавин В.В., Ханкевич Ю.Р. и др. Комплексная реабилитация операторов подводных технических систем после моделирования операторской деятельности // Воен.-мед. журн. 2016. Т. 337. № 3. С. 55–63.

Kalmanov A.S., Bulavin V.V., Khankevich Yu.R. et al. Complex rehabilitation of operators of submarine technical systems after operating activity modeling // Voenno-meditsinskiy zhurnal. 2016. V. 337. № 3. P. 55–63.

Поступила 08.09.2017

USE OF THE METHOD OF SPECIAL BREATHWORK AND IDEOMOTOR EXERCISES FOR PSYCHO-CORRECTION OF ADAPTATION-RELATED DISORDERS IN FLYING PERSONNEL

Ivanov I.V., Zheltyi O.P., Ishchenko P.V.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 3. P. 54–61

During medical examination, flying personnel members were divided into a group of essentially healthy people (control) and a group with the risk of pre-neurotic disorders due to lowered mental adaptability to the flying environment. A rehabilitation program consisting of a complex of person-oriented rational psychotherapy supported by a course of holotropic breathwork (breathing and ideomotor exercises) proved to be effective in abating pre-neurotic disorders. Altered states of consciousness reached during HB help correct rigid dominant psyche conditions that distort the sense of professional motivation and deform typology of behavior. Besides, HB recovers adaptability of pilot's personality as a whole.

Key words: aviation medicine, flight personnel, personal adaptation potential, pre-neurotic disorders, psychological correction, holotropic breathwork.

УДК 613.6; 625.098; 656.7

АВИАЦИОННЫЙ ШУМ КАК ВЕДУЩИЙ ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ РИСКИ У ИНЖЕНЕРНО-АВИАЦИОННОГО СОСТАВА

Шешегов П.М.¹, Зинкин В.Н.¹, Сливина Л.П.²

¹Научно-исследовательский испытательный центр (авиационно-космической медицины и военной эргономики) Центрального научно-исследовательского института ВВС МО РФ, Москва

²Волгоградский государственный медицинский университет

E-mail: sheshegoff.pavel@yandex.ru

Инженерно-авиационный состав (ИАС) в процессе профессиональной деятельности подвергается воздействию вредных производственных факторов. Наиболее выраженный неблагоприятный вклад вносят шум и инфразвук. Повышенный уровень заболеваемости ИАС является в основном следствием совместного действия шума и инфразвука. В структуре заболеваний этой категории авиационных специалистов преобладают заболевания органов слуха (нейросенсорная тугоухость), сердечно-сосудистой системы (повышение артериального давления), органов зрения. В зависимости от степени связи заболеваний с условиями труда выделены профессиональные и профессионально обусловленные заболевания. По весо-мости доказательств рассматриваемые профессиональные риски относятся к категории «доказанный профессиональный риск».

Ключевые слова: авиационный шум, инженерно-авиационный состав, заболеваемость, профессиональный риск.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 3. С. 62–68.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-3-62-68

Актуальность изучения воздействия шума на специалистов Военно-воздушных сил (ВВС) определяется большим числом рабочих мест, на которых уровень шума превышает допустимые уровни. Из авиационных специалистов (АС) в особенно неблагоприятных условиях находятся лица инженерно-авиационного состава (ИАС), принимающие участие в обслуживании воздушных судов (ВС). Они подвергаются воздействию комплекса вредных факторов: шум, инфразвук (ИЗ), вибрация, контакт с горюче-смазочными материалами. Среди них доминирует шум, на долю которого приходится 20,7 % рабочих мест с неудовлетворительными условиями труда. [1, 2].

Для установления вероятности развития и степени выраженности неблагоприятных последствий для здоровья человека, обусловленных воздействием факторов среды обитания, осуществляется

оценка профессионального риска (ПР). Результатом оценки ПР является количественная оценка степени риска ущерба для здоровья работников от действия вредных факторов рабочей среды и ненормированной трудовой нагрузки с учетом тяжести их последствий. Эти данные являются основанием для принятия управленческих решений по ограничению риска и оптимизации условий труда работников [3].

Существующая в медицине труда концепция доказательной медицины позволяет апробировать методы определения ПР нарушения здоровья у АС ВВС на основании априорного и апостериорного прогнозирования, что позволит более эффективно организовать профилактические мероприятия, направленные на сохранение здоровья АС и поддержание военно-профессиональной деятельности на высоком уровне.

Цель исследования: рассчитать и оценить уровень ПР у инженерно-авиационного состава ВВС, обусловленных воздействием шума.

Методика

Для оценки заболеваемости ИАС использовали исследования документации за 2009–2012 гг. В основную группу был включен ИАС в количестве 2577 человек, подвергавшихся воздействию высокоинтенсивного шума при обслуживании ВС, и 353 человека контрольной группы (КГ), профессиональная деятельность которых не связана с воздействием шума. В качестве показателей заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ВУТ) на 100 работающих использовали: число случаев первичной заболеваемости, число случаев и число дней трудопотерь с ВУТ и уровень заболеваемости [4, 5]. При статистической обработке использовали критерий Стьюдента для несвязанных выборок [6].

Расчет статистических показателей ПР по данным заболеваемости проведен в соответствии с методическими рекомендациями [3, 7]. Для доказательности профессионального и профессионально

Таблица 1

Обобщенные данные о заболеваемости ИАС, ‰ (М ± m)

Класс болезней	Исследуемая группа	Число наблюдений	Первичная заболеваемость	Число случаев трудопотерь	Число дней трудопотерь
Класс VI. Болезни нервной системы	КГ	n = 4	9,2 ± 1,6	13,8 ± 1,7	174,9 ± 33,7
	ИАС	n = 12	40,9 ± 3,3***	41,7 ± 1,8***	365,3 ± 20,9***
Класс VII. Болезни глаз	КГ	n = 4	8,5 ± 1,3	9,2 ± 1,6	28,9 ± 4,8
	ИАС	n = 12	14,9 ± 0,6***	15,0 ± 0,7	156,4 ± 11,4***
Класс VIII. Болезни уха и сосцевидного отростка	КГ	n = 4	8,5 ± 2,3	12,7 ± 1,6	98,7 ± 3,4
	ИАС	n = 12	16,6 ± 2,4*	17,5 ± 2,5	133,8 ± 24,4
Класс IX. Болезни органов кровообращения	КГ	n = 4	5,7 ± 4,6	14,5 ± 2,5	120,3 ± 13,9
	ИАС	n = 12	45,3 ± 8,3***	64,0 ± 8,7***	843,8 ± 104,4***
Класс X. Болезни органов дыхания	КГ	n = 4	307,9 ± 2,2	307,9 ± 2,2	1252,0 ± 49,1
	ИАС	n = 12	379,9 ± 32,9*	388,2 ± 32,7*	2031,0 ± 84,5***
Класс XI. Болезни органов пищеварения	КГ	n = 4	13,2 ± 9,0	30,1 ± 5,1	306,0 ± 7,4
	ИАС	n = 12	38,0 ± 3,1*	43,8 ± 3,3*	699,5 ± 98,5**
Класс XII. Болезни кожи и подкожной клетчатки	КГ	n = 4	14,0 ± 1,8	14,8 ± 1,5	131,1 ± 21,1
	ИАС	n = 12	36,7 ± 3,1***	38,2 ± 4,7***	330,1 ± 48,9*
Класс VIII. Группа 4. Другие болезни уха (НСТ)	КГ	n = 4	0,7 ± 0,8	1,4 ± 0,9	12,0 ± 8,1
	ИАС	n = 12	8,5 ± 1,4***	10,3 ± 1,4***	80,9 ± 12,2***
Класс IX. Группа 3. Болезни с повышенным АД	КГ	n = 4	2,1 ± 1,5	14,1 ± 1,9	98,8 ± 10,0
	ИАС	n = 12	29,0 ± 5,5***	39,8 ± 5,6***	483,8 ± 50,7***
Общий итог по всем классам	КГ	n = 4	437,7 ± 6,4	532,3 ± 28,5	4318,3 ± 72,4
	ИАС	n = 12	755,0 ± 24,0***	746,2 ± 33,1***	6953,3 ± 535,8***

Примечание. Уровень достоверности по сравнению с КГ: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$. Курсивом выделены показатели в экспериментальной группе, достигшие наиболее выраженных отклонений.

обусловленного заболевания использовали следующие статистические показатели: K_p – категория риска профессионального заболевания, RR – относительный риск, RF^+ – абсолютный риск, EF – этиологическая доля, K_c – категория связи с работой.

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены обобщенные данные о заболеваемости ИАС. Рост числа дней трудопотерь в экспериментальной группе по сравнению с контрольной группой отмечен во всех исследуемых классах.

Болезни нервной системы (класс VI) по этому показателю выросли на 1,1 %, болезни глаз (класс VII) – на 1,6 %, болезни органов кровообращения (класс IX) – на 9,3 %, болезни органов дыхания (класс X) – на 0,2 %, болезни органов пищеварения (класс XI) – на 3,0 %, болезни кожи и подкожной клетчатки (класс XII) – на 1,7 %, больные с нейросенсорной тугоухостью (НСТ) – на 48 %, значения достоверны. Как видно из данных табл. 1. наибольший вклад в увеличение трудопотерь внесли болезни органов кровообращения (класс IX).

В контрольной группе такие показатели как число случаев трудопотерь ($532,3 \pm 28,5$) и число дней

Таблица 2

Оценка степени связи заболеваний ИАС во всех видах авиации

Класс болезней	RR	EF, %	RF+ ‰	K _c	Оценка степени связи
Болезни нервной системы	2,9*	65	42	3	Высокая*
Болезни глаз	1,7	41	15	4	Средняя
Болезни уха	1,5	33	17	4	Средняя
Болезни органов кровообращения	4,5*	78	64	2	Очень высокая*
Болезни органов дыхания	1,3*	23	388	5	Малая
Болезни органов пищеварения	1,5	33	44	4	Средняя
Болезни кожи	2,7*	63	38	3	Высокая*
Группа 4 класса VIII (НСТ)	7,1*	86	10	1	Почти полная*
Группа 3 класса IX (повышенное АД)	2,8*	64	40	3	Высокая*

Примечание. * – значения при достоверности различий 95 % CI RR, $p_{RR} < 0,05$ и $K_c > 3$.

трудопотерь ($4318,3 \pm 72,4$) соответствовали уровню «низкий» и «очень низкий» соответственно. В экспериментальной группе средние значения этих показателей существенно увеличились, так число случаев трудопотерь достигло $746,2 \pm 33,1$, а число дней трудопотерь составило $6953,3 \pm 535,8$. При этом уровень заболеваемости вырос и соответствовал уровню «ниже среднего» [8, 9].

По результатам проведенных исследований выполнен расчет величин абсолютного RF⁺ и относительного риска RR, этиологической доли EF, доверительных интервалов 95 % CI, определена категория связи K_c. В табл. 2 представлены показатели, позволяющие дать количественную оценку степени связи заболеваний ИАС с их профессиональной деятельностью.

В соответствии с методическими рекомендациями [3] оценка степени причинно-следственной связи нарушений здоровья с видом деятельности осуществлялась по величине относительного риска (RR) и этиологической доли (EF). Если этиологическая доля составляла более 30 %, то заболевания относили к профессионально обусловленным, а свыше 81 % – профессиональным.

Как видно из табл. 2 перечисленные болезни (кроме болезней органов дыхания) являются профессионально обусловленными ($K_c = 2-4$).

Самую высокую, «почти полную» ($EF = 86\%$), степень связи с условиями работы ИС имели болезни группы 4 класса VIII, представленные одной нозологической формой – нейросенсорной тугоухостью ($K_c = 1$). Этот показатель указывает, что НСТ является профессиональным заболеванием у ИАС [9].

Аналогичные исследования были проведены по всем видам авиации ВВС [10]. Установлено, что показатели заболеваемости ИАС в истребительно-бомбардировочной авиации (ИБА) были выше

показателей заболеваемости контрольной группы по всем классам болезней, кроме класса VII (болезни глаз) и класса VIII (болезни уха и сосцевидного отростка). Наибольшее превышение этих показателей было по классу IX (болезни органов кровообращения) и группе 4 класса VIII (НСТ). Кроме того, среди всех видов авиации заболеваемость у ИАС ИБА была максимальной по заболеваниям органов дыхания, кожи и подкожной клетчатки.

В группе ИАС военно-транспортной авиации (ВТА) показатели заболеваемости были выше аналогичных показателей контрольной группы по VI, VII, IX и XII классам болезней: нервной системы, органа зрения, заболеваний сердечно-сосудистой системы, кожи и подкожной клетчатки; во всех остальных классах VIII, X, XI (болезни уха и сосцевидного отростка, органов дыхания, пищеварения) мало отличались от показателей заболеваемости контрольной группы. У ИТС ВТА показатели заболеваемости были самыми низкими.

Показатели заболеваемости ИАС дальней авиации (ДА) были выше показателей заболеваемости контрольной группы по всем классам болезней за весь исследуемый период. Значительно выше они были в VI, IX классах болезней, группе 4 VIII и группе 3 IX классов болезней (болезни нервной, сердечно-сосудистой системы, НСТ и болезни с повышенным АД соответственно). Среди всех видов авиации показатели заболеваемости в группе ИТС ДА были самыми высокими.

При оценке уровня заболеваемости установили, что у ИАС ВТА уровень заболеваемости был «низкий», у ИАС ИБА – «ниже среднего», а у ИАС ДА – «средний». По сравнению с уровнем заболеваемости в контрольной группе, который оценивался как «очень низкий», заболеваемость ИАС во всех видах авиации была увеличена, особенно в группе ИАС ДА.

Таким образом, анализ заболеваемости ИАС ВВС показал, что у личного состава, который при выполнении им военно-профессиональных обязанностей наряду с другими факторами подвергался воздействию высокоинтенсивного шума, были увеличены первичная заболеваемость, число случаев трудопотерь и число дней трудопотерь по всем представленным в табл. 1 классам болезней. Наиболее высокие показатели заболеваемости выявили в группе ИАС ДА. Наибольшее увеличение показателей заболеваемости обнаружили со стороны органов кровообращения, что в полной мере соответствует существующим представлениям о механизме действия высокоинтенсивного шума на организм человека и данным по анализу заболеваемости работающих в условиях шума [11].

Обращает внимание то, что у ИАС было выявлено повышение уровня заболеваний в классах болезни глаз, болезни кожи и подкожной клетчатки. Полученные данные подтверждаются научными публикациями, в которых показано, что действие низких и инфразвуковых частот вызывает патологические изменения в органах дыхания, зрительном анализаторе, а также коже и подкожной клетчатке [2, 12].

Оценка риска выявленных заболеваний с профессиональной деятельностью ИАС различных видов ВВС по вышеуказанной методике (см. табл. 1) представлена в работе [10]. У ИАС ИБА заболевания глаз, уха и органов дыхания имели «малую» связь с работой ($EF < 23 \%$); заболевания органов пищеварения – «среднюю» ($EF = 41 \%$); болезни нервной системы – «высокую» ($EF = 64 \%$); болезни органов кровообращения, кожи – «очень высокую» ($EF = 77$ и 70% соответственно). «Почти полная» связь была отмечена с НСТ ($EF = 83 \%$). Значения показателя относительного риска (RR) в своем большинстве были недостоверны ($p_{RR} > 0,05$).

У ИАС ДА «почти полную» связь с работой имели болезни сердечно-сосудистой системы и нервосенсорная тугоухость ($EF = 82$ и 89% соответственно); «очень высокую» – болезни нервной системы и с повышенным АД ($EF = 68$ и 73% соответственно); «высокую» – болезни глаз, уха и кожи ($EF = 52$ – 58%); «среднюю» – заболевания желудочно-кишечного тракта ($EF = 41 \%$) и «малую» – болезни органов дыхания ($EF = 23 \%$). Значения показателя относительного риска (RR) были недостоверны ($p_{RR} > 0,05$).

В ВТА у ИАС «очень» высокую связь с работой имела НСТ ($EF = 77 \%$), «высокую» – болезни нервной системы ($EF = 62 \%$); «среднюю» – болезни глаз и кожи ($EF = 44$ и 41% соответственно); «малую» – болезни органов кровообращения ($EF = 23 \%$). Во всех остальных классах болезней установлена нулевая связь с работой ($EF = 0$). Значения показателя относительного риска (RR) были недостоверны ($p_{RR} > 0,05$).

Таким образом, полученные результаты показывают, что согласно критериям оценки связи болезней с работой у ИАС всех видов авиации к профессиональной патологии относится НСТ ($K_c = 1$), а все остальные классы болезней, кроме болезней органов дыхания – к профессионально обусловленным ($K_c = 4$ – 2). Болезни органов дыхания ($K_c = 5$) являются для всех ИАС общими заболеваниями.

Одним из показателей оценки профессиональной заболеваемости служит индекс профзаболеваемости, являющийся обратной величиной произведения показателей категории риска (K_p) и категории тяжести (K_t) [3, 5].

Категория риска определяется по шкале в зависимости от выявленных случаев профессиональных заболеваний. При расчете относительного риска было установлено, что НСТ является профессиональным заболеванием. При исследовании органа слуха НСТ определена у 47% ИАС. Вероятность выявленных случаев составляет более 10% , следовательно, K_p будет соответствовать 1.

Категория тяжести определяется на основе медицинского прогноза нетрудоспособности. По данным медицинской документации установлено, что больным с НСТ соответствует медицинский прогноз в виде умеренной временной нетрудоспособности сроком менее 3 нед. Поэтому категория тяжести будет соответствовать 5, а индекс профессиональных заболеваний для ИАС будет равен $0,25$.

Оценивая риск в зависимости от класса условий труда и показателей профессиональной заболеваемости, была установлена категория риска. У ИАС класса условий труда соответствует от 3,4 (вредного четвертой степени) до 4 класса (опасный), но индекс профзаболеваний составляет $0,25$, риск находится между категориями «очень высокий» (непереносимый) и «сверхвысокий», что требует проведения работ только по специальным регламентам.

Известно, что шум вызывает патологические изменения не только в органе слуха, но и в сердечно-сосудистой, центральной нервной системах, органах дыхания, кожи и др. По показателям, дающим количественную оценку степени связи заболеваний ИАС с их профессиональной деятельностью, можно оценить риск развития неспецифической патологии по числу профессионально обусловленных заболеваний.

У ИАС значения относительного и абсолютного риска показывают, что авиационный шум (АШ) усиливает риск развития заболеваний нервной, сердечно-сосудистой системы и кожи (см. табл. 2). Так, риск возникновения заболеваний нервной системы у ИАС выше, чем в контрольной группе в $2,9$ раза, а абсолютный риск составляет 42 дополнительных случая заболеваний на 1000 человек в год. По сравнению с контрольной группой риск развития заболеваний сердечно-сосудистой системы у ИАС выше

в 4,5 раза, а болезней кожи – в 2,7 раза, абсолютный риск составляет соответственно 64 и 38 дополнительных случаев заболеваний на 1000 человек в год.

Таким образом, изучение причинно-следственных связей между ущербом здоровью и отклонений по данным клинических исследований с условиями труда позволило количественно оценить степень этой связи, категорию риска заболевания. В результате оценки профессионального риска установлено, что у ИАС НСТ является профессиональным заболеванием, развитие которого имеет прямую связь с воздействием шума. К профессионально обусловленной патологии у ИАС относятся заболевания нервной, сердечно-сосудистой систем, болезни глаз, уха, органов пищеварения и кожи.

Полученные результаты позволяют прогнозировать с высокой вероятностью, что работа ИАС во вредных и опасных условиях труда будет сопровождаться увеличением уровня общей заболеваемости и риском развития профессионально обусловленной патологии. Изучение заболеваемости позволило установить увеличение общей заболеваемости, что является свидетельством неблагоприятного влияния условий военно-профессиональной деятельности на состояние здоровья [2, 8, 10]. Анализ структуры заболеваний показывает, что на ее формирование влияют условия труда. Так, у ИАС преобладают болезни уха, органов кровообращения, пищеварения, дыхания, нервной системы, глаз и кожи.

При воздействии шума основным критическим органом является орган слуха, что обуславливает физиологические (акустический рефлекс, временное смещение порогов слуха) и клинические проявления (постоянное смещение порогов слуха с последующим развитием НСТ) [13]. Кроме того, шум, оказывая опосредованное действие на центральную нервную и сердечно-сосудистую системы, способствует развитию астеновегетативных и сосудистых нарушений, вызывая развитие артериальной гипертензии [11, 14].

При действии ИЗ критическим органом является не только орган слуха, но и вестибулярный анализатор, органы дыхания. Поэтому он вызывает физиологические изменения со стороны слухового и вестибулярного анализаторов, а в клинической картине отмечается патология органа слуха в виде НСТ, вестибулярные нарушения и формирование патологии органов дыхания в виде хронического бронхита и эмфиземы легких. Оказывая опосредованное действие на центральную и сердечно-сосудистую системы, ИЗ способствует развитию астеновегетативных и сосудистых нарушений, в том числе и артериальной гипертензии [1, 2, 15].

Представленные данные позволяют утверждать, что повышенный уровень заболеваемости

военнослужащих ИАС является в основном следствием действия высокоинтенсивного шума и ИЗ. Необходимо учитывать и то обстоятельство, что одновременное действие этих двух физических факторов может потенцировать их неблагоприятные эффекты [15, 16].

Как видно, выявленная патология у ИАС зависит от условий труда и находится в зависимости от специальности и вида авиации, что требует дальнейшего изучения причинно-следственных связей развития профессиональной и профессионально-обусловленной патологии с последующей разработкой мер профилактики.

Мерой доказанности риска является категория доказанности риска (по критериям ООН) [17, 18]. В нашем случае на основе результатов гигиенической оценки условий труда по критериям руководства Р 2.2.2006–05, материалов периодических медицинских осмотров, и эпидемиологических данных профессиональный риск у ИАС относится к категории 1А (доказанный профессиональный риск).

Таким образом, на основании оценки условий труда и заболеваемости можно сделать заключение, что АШ является вредным профессиональным фактором и создает доказанный профессиональный риск нарушения здоровья ИАС.

Оценка профессионального риска должна являться составной частью социально-гигиенического мониторинга. Более того, методология риска является адекватным дополнением гигиенической классификации труда и может успешно использоваться при санитарно-гигиенической характеристике рабочих мест. С нашей точки зрения, внедрение концепции ПР в ВВС является важным методологическим направлением в профилактической деятельности медицинской службы ВВС, способствующим сохранению здоровья ИАС ВВС и поддержанию военно-профессиональной деятельности на высоком уровне.

«Очень высокий» риск развития профессиональной патологии у ИАС ВВС требует проведения неотложных мероприятий по его снижению. Управление риском должно быть комплексным и включать организационно-технические, лечебно-профилактические, административно-правовые и экономические меры. Ведущее место в указанном перечне мероприятий должно отводиться коллективным и индивидуальным средствам защиты от АШ, обладающим достаточной эффективностью в звуковом и инфразвуковом диапазонах [1, 10, 19].

Выводы

1. Анализ заболеваемости ИАС показал увеличение общей и первичной заболеваемости в следующих классах болезней: глаз, кровообращения, пищеварения, органов слуха (НСТ), кожи и подкожной

клетчатки, основной причиной которых является АШ, класс условий труда которого соответствует вредному и опасному. Наиболее высокими показателями заболеваемости были у ИАС ДА.

2. По критериям оценки риска НСТ у ИАС является профессиональным заболеванием, развитие которого имеет прямую связь с воздействием АШ, а заболевания нервной, сердечно-сосудистой систем, болезни глаз, уха, органов пищеварения и кожи относятся к профессионально обусловленным заболеваниям.

3. На основе результатов гигиенической оценки условий труда по критериям руководства Р 2.2.2006–05, материалов периодических медицинских осмотров и эпидемиологических данных профессиональный риск у ИАС относится к категории 1А (доказанный профессиональный риск).

Список литературы

1. Жданько И.М., Зинкин В.Н., Солдатов С.К. и др. Фундаментальные и прикладные аспекты профилактики неблагоприятного действия авиационного шума // *Авиакосм. и экол. мед.* 2014. Т. 48. № 4. С. 5–16.
Zhdan'ko I.M., Zinkin V.N., Soldatov S.K. et al. Fundamental and applied aspects of preventing the adverse effects of aviation noise // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2014. V. 48. № 4. P. 5–16.
2. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. Авиационный шум: специфические особенности биологического действия и защиты // Там же. 2012. Т. 46. № 2. С. 9–16.
Zinkin V.N., Bogomolov A.V., Akhmetzyanov I.M., Sheshegov P.M. Aviation noise: specifics of the biological action and protection // Ibid. 2012. V. 46. № 2. P. 9–16.
3. Р 2.2.1766-03. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки.
R 2.2.1766-03. Guidance on the assessment of occupational health risks for personnel. Organizational and methodological foundations, principles and criteria for evaluation.
4. Ноткин Е.Л. Об углубленном анализе данных заболеваемости с временной нетрудоспособностью // *Гигиена и санитария.* 1979. № 5. С. 40–46.
Notkin E.L. On in-depth analysis of data of morbidity with temporary disability // Gigiena i sanitariya. 1979. № 5. P. 40–46.
5. Профессиональные заболевания: руководство для врачей. В 2 т. / Н.Ф. Измеров, ред. М., 1996. Т. 2.
Occupational diseases: a guide for medical practitioners. In 2 v. / N.F. Izmerov, ed. Moscow, 1996. V. 2.
6. Плавинский С.Л. Биостатистика. Планирование, обработка и представление результатов биомедицинских исследований при помощи системы SAS. СПб., 2005.
Plavinskiy S.L. Biostatistics. Planning, processing and presentation of the results of biomedical research using SAS system. St. Petersburg, 2005.
7. Методические рекомендации по оценке профессионального риска по данным периодических медицинских осмотров. М., 2006.
Methodological recommendations for the assessment of occupational risk according to periodic medical examinations. Moscow, 2006.
8. Солдатов С.К., Бухтияров И.В., Свидовый В.И. и др. Профессионально обусловленная заболеваемость авиационных специалистов // *Медицина труда и промышленная экология.* 2010. № 9. С. 35–40.
Soldatov S.K., Bukhtiyarov I.V., Svidovy V.I. et al. Professionally conditioned morbidity of aviation specialists // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2010. № 9. P. 35–40.
9. Ушаков И.Б., Ромасюк С.И., Шешегов П.М. и др. Действие авиационного шума на орган слуха инженерно-технического состава авиации // *Воен.-мед. журн.* 2006. № 7. С. 59–62.
Ushakov I.B., Romasyuk S.I., Sheshegov P.M. et al. The effect of aircraft noise on the auditory body of the aviation engineering staff // Voennno-medicinskiy zhurnal. 2006. № 7. P. 59–62.
10. Шешегов П.М. Профессиональные риски у авиационных специалистов Военно-воздушных сил // *Проблемы безопасности полетов.* 2016. № 2. С. 3–25.
Sheshegov P.M. Professional risks for the Air Force aviation specialists // Problemy bezopasnosti poletov. 2016. № 2. P. 3–25.
11. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Прокопенко Л.В. Человек и шум. М., 2001.
Izmerov N.F., Suvorov G.A., Prokopenko L.V. Man and noise. Moscow, 2001.
12. Зинкин В.Н., Свидовый В.И., Ахметзянов И.М. Неблагоприятное влияние низкочастотных акустических колебаний на органы дыхания // *Профилак. и клин. мед.* 2011. № 3. С. 280–284.
Zinkin V.N., Svidovy V.I., Akhmetzyanov I.M. The adverse effect of low-frequency acoustic vibrations on the respiratory system // Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina. 2011. № 3. P. 280–284.
13. Бабияк В.И. Клиническая оториноларингология: Руководство для врачей. СПб., 2005.
Babiyak V.I. Clinical otorhinolaryngology: a guide for physicians. St. Petersburg, 2005.
14. Профессиональная патология: национальное руководство / Н.Ф. Измеров, ред. М., 2011.
Professional pathology: a national guide / N.F. Izmerov, ed. Moscow, 2011.
15. Зинкин В.Н., Ахметзянов И.М., Орихан М.М. Инфразвук как вредный производственный фактор // *Безопасность жизнедеятельности.* 2013. № 9. С. 2–9.
Zinkin V.N., Akhmetzyanov I.M., Orikhan M.M. Infrasound as a harmful productional factor // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2013. № 9. P. 2–9.

16. Свидовый В.И., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. и др. Влияние сочетанного шума и инфразвука на слуховой и вестибулярный анализаторы // Профил. и клин. мед. 2006. № 3. С. 69–73.

Svidovyy V.I., Akhmetzyanov I.M., Sheshegov P.M. et al. Effect of combined noise and infrasound on auditory and vestibular analyzers // Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina. 2006. № 3. S.69-73.

17. ГОСТ Р 12.0.006-2002 «ССБТ. Общие требования к управлению охраной труда в организации».

GOST R 12.0.006-2002 «SSBT. General requirements for occupational safety management in the organization».

18. UN. Globally harmonized system of classification and labeling of chemicals (GHS). N.Y.; Geneva, 2003.

19. Солдатов С.К., Богомолов А.В., Аверьянов А.А. и др. Средства и методы защиты от авиационного шума и перспективы развития // Авиакосм. и экол. мед. 2011. Т. 45. № 5. С. 3–11.

Soldatov S.K., Bogomolov A.V., Aver'yanov A.A. et al. Means and methods of acoustic protection in action: current status and outlook for development // Aviakosmicheskaya i ehkologicheskaya medicina. 2011. V. 45. № 5. P. 3–11.

Поступила 27.12.2017

AVIATION NOISE AS A MAJOR FACTOR CONTRIBUTING TO MORBIDITY AND OCCUPATIONAL RISKS FOR AVIATION MAINTENANCE PERSONNEL

Sheshegov P.M., Zinkin V.N., Slivina L.P.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 3. P. 62–68

The aviation maintenance personnel (AMP) are exposed to a number of harmful occupational factors, noise and infrasound particularly. High morbidity rate among AMP is largely linked with a synergy of noise and infrasound effects. Within the AMP morbidity structure prevail problems with hearing (sensorineural hearing loss), cardiovascular system (high blood pressure) and vision. The diseases were classified according to whether they were work-related or caused by the occupational environment. Considering the weighty evidence, occupational risks discussed in the paper belong to the category of «established occupational risk».

Key words: aviation noise, aviation maintenance personnel (AMP), morbidity, occupational risk.

УДК 612.886

КОНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАТОКИНЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕТНОГО СОСТАВА В УСЛОВИЯХ ДАЛЬНОГО МОРСКОГО ПОХОДА

Глазников Л.А.¹, Сорокина Л.А.², Буйнов Л.Г.², Плахов Н.Н.²

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

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

E-mail: buynoff@yandex.ru

Проведено исследование статокINETической устойчивости (СКУ) летчиков палубной авиации в зависимости от их соматотипа при выполнении дальнего похода. На основе соматотипирования 220 человек были разработаны 2 дискриминантные функции, позволяющие на основе 7 антропометрических показателей определить дигестивный соматотип с точностью 96 %, мышечный – с точностью 87 %.

Выборку из 42 летчиков палубной авиации разделили на группы по признаку преимущественного соматотипа. СтатокINETическую устойчивость летчиков определяли методом кумуляции ускорений Кориолиса на вращающемся кресле. Наибольшую СКУ показали летчики с мышечным соматотипом, наименьшую – с дигестивным. Действие факторов дальнего похода привело к незначительному снижению СКУ у летчиков, относящихся к дигестивному типу. Это снижение не повлияло на качество выполнения полетного задания.

Ключевые слова: соматотип, статокINETическая устойчивость, авианесущий крейсер, летный состав, укачивание, функциональное состояние, профессиональная работоспособность.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 3. С. 69–72.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-3-69-72

Увеличение количества и разнообразия наземных, водных и авиационных средств передвижения неуклонно ведет к увеличению статокINETических воздействий на организм человека [1].

На фоне ограниченных психофизиологических резервов и возможностей функциональных систем организма это приводит к более частому и выраженному проявлению вестибулосенсорных, вестибуловегетативных и вестибулосоматических реакций [2].

Увеличение выраженности этих реакций оказывает негативное влияние на самочувствие и функциональное состояние летного состава, приводя к снижению работоспособности, увеличению количества ошибок, ухудшению качества профессиональной деятельности [3].

Эти изменения во многом зависят не только от продолжительности и выраженности воздействия на организм знакопеременных ускорений, но и от уровня его статокINETической устойчивости (СКУ).

В дальнем морском походе задачи боевой службы выполняются летным составом в условиях неоднократного пересечения часовых поясов, приводящего к десинхронозу, циклического изменения температуры воздуха от пониженной до высокой, избыточной влажности, морской качки до 7–8 баллов [4]. К неблагоприятным факторам корабельной обитаемости относятся также качество и дефицит пресной воды, недостаточный отпуск пресной воды для нужд личной гигиены, шумы, вибрации, загазованность воздуха при работе авиационных двигателей [5].

Деятельность летного состава палубной авиации при выполнении трамплинного взлета и аэрофинишной посадки требует предельной мобилизации психофизиологических ресурсов. В основе снижения работоспособности летчиков ведущее место занимают хроническое утомление и переутомление, усугубляемые воздействием на организм ударных перегрузок и факторов обитаемости корабля. Это может значительно снизить боевую эффективность выполнения полетных заданий или даже сделать это невозможным [4].

Ряд авторов считают, что тип конституции человека является фенотипическим маркером, определяющим особенности протекания физиологических и патофизиологических процессов в организме. Предположительно определение типа конституции может служить информативным показателем для выявления лиц с повышенным риском при некоторых видах деятельности [6], учитывая, что конституциональные особенности взаимосвязаны со свойствами нервной системы, метаболизма, предрасположенностью к заболеваниям, устойчивостью к неблагоприятному воздействию факторов внешней среды, в том числе к действию знакопеременных ускорений [7].

Целью исследования являлась оценка СКУ летного состава авиации палубного базирования в

зависимости от соматотипа в условиях дальнего похода.

Методика

Исследование проводилось в 2 этапа. На 1-м этапе было обследовано 220 практически здоровых людей в возрасте 20–30 лет. У них проводились антропометрические измерения, по результатам которых определялась дискриминантная функция, позволяющая отнести обследуемых, в зависимости от типа телосложения, к одному из 4 соматотипов: дигестивному, мышечному, астеноидному или торакальному [8]. При этом обращали внимание на форму грудной клетки и эпигастрального угла, нижних конечностей и живота, степень развития мышечной и костной систем, подкожно-жирового слоя. Помимо соматотипических признаков исследовали ряд соматометрических показателей: длину и массу тела, толщину кожно-жировых складок (в области *mm. biceps* и *triceps*), гребня подвздошной кости (*m. suprailiaca*), подлопаточной области (*m. subscapularis*), длину окружности грудной клетки (на уровне верхней трети) и предплечья, ширину плеч (на уровне акромиальных отростков) и грудной клетки (на уровне IV ребра), ее глубину (на уровне сосковой линии).

На 2-м этапе было обследовано 42 летчика палубной авиации, принимавших участие в 104-суточном походе. До выхода в море выполнили антропометрическое обследование летчиков и расчет дискриминантной функции, позволившие распределить их на 4 группы, в зависимости от преимущественного соматотипа: астеноидный – 7, дигестивный – 11, торакальный – 8, мышечный – 16 человек. В начале, в середине и в конце похода летному составу проводили пробу с непрерывной кумуляцией ускорений Кориолиса (НКУК) [9]. Определяли время переносимости пробы НКУК и степень выраженности сенсорного, соматического и вегетативного компонентов статокинетических реакций.

Количественную оценку степени выраженности статокинетических реакций летчиков в пробе НКУК проводили с применением балльной оценки объективных и субъективных признаков укачивания: 0 – отсутствие признака; 1 – слабо выраженный признак; 2 – сильно выраженный признак.

Во время заключительной части дальнего похода крейсер прошел штормовую зону, испытывая килевую, бортовую и вертикальную качку. При этом в зависимости от величины штормовой волны вертикальное перемещение носовой и кормовой оконечностей корабля составляло от 5,0 до 30,0 м, центральной части миделя – от 2,0 до 10,0 м. Максимальная величина угловых колебаний корпуса вокруг продольной оси составляла 32,0°.

Результаты и обсуждение

В результате проведенного дискриминантного анализа конституциональных признаков, примененных к соматотипированию, были построены 2 дискриминантных функции, включающие наиболее значимые из исследуемых показателей.

Первая функция включает данные по длине окружности грудной клетки (ОГК) и толщине кожно-жировых складок в области *m. biceps* (КЖС₁), гребне подвздошной кости (КЖС₃), подлопаточной области (КЖС₄):

$$Y_1 = 0,273 \times \text{КЖС}_4 + 0,837 \times \text{КЖС}_1 + 0,223 \times \text{ОГК} + 0,224 \times \text{КЖС}_3 - 25,37,$$

где значения Y_1 трактуются следующим образом: при $Y_1 \geq 0$ испытуемый относится к дигестивному соматотипу; при $Y_1 < 0$ испытуемый относится к мышечному, астеноидному или торакальному соматотипу.

Вторая функция включает данные по длине обхвата предплечья (ОП), длине (ДТ) и массе (МТ) тела, окружности грудной клетки (ОГК):

$$Y_2 = 0,9 \times \text{ОП} - 0,28 \times \text{ДТ} + 0,4 \times \text{ОГК} + 0,1 \times \text{МТ} + 0,49,$$

где значения Y_2 трактуются следующим образом: при $Y_2 \geq 0$ испытуемый относится к мышечному соматотипу; при $Y_2 < 0$ испытуемый относится к астеноидному или торакальному соматотипу.

Первая дискриминантная функция позволяет выделить лиц дигестивного типа конституции с точностью 96 %, вторая – лиц мышечного типа с точностью 87 % в обследованной выборке.

В ходе 104-суточного дальнего похода у лиц летного состава, входящих в астеноидную, дигестивную, торакальную и мышечную группы, время переносимости НКУК, а также выраженность сенсорного, вегетативного и соматического компонентов статокинетических реакций на действие НКУК менялись неодинаково.

В большей степени эти изменения были отмечены у лиц, отнесенных к дигестивному типу телосложения, что подтверждается отрицательной динамикой некоторых из изучаемых показателей – в группе летчиков с дигестивным типом телосложения за время похода статистически достоверно уменьшилось время переносимости пробы НКУК, усилились ощущения головокружения, тяжести в голове, дискомфорта в желудке и выраженность гиперсаливации (таблица).

Однако необходимо отметить, что время переносимости пробы НКУК во всех случаях было более 2 мин, что отражает достаточную переносимость летчиками ускорений Кориолиса [10].

Таблица

Показатели переносимости летчиками пробы НКУК в начале, в середине и в конце 104-суточного похода (М ± δ)

Показатели	Дигестивный тип телосложения (n = 11)			Мышечный тип телосложения (n = 16)		
	В начале	В середине	В конце	В начале	В середине	В конце
Время переносимости НКУК, с	161,3 ± 11,2	156,8 ± 10,4	150,2 ± 11,6*	174,2 ± 11,6	178,3 ± 10,5	179,3 ± 10,8
Чувство жара, баллы	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,04	0,3 ± 0,03	0,2 ± 0,03	0,2 ± 0,04	0,2 ± 0,04
Головокружение, баллы	0,2 ± 0,03	0,2 ± 0,02	0,3 ± 0,03*	0,0 ± 0,00	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,00
Тяжесть в голове, баллы	0,2 ± 0,03	0,2 ± 0,03	0,3 ± 0,05*	0,1 ± 0,02	0,0 ± 0,00	0,1 ± 0,02
Дискомфорт в желудке, баллы	0,3 ± 0,03	0,3 ± 0,05	0,5 ± 0,04*	0,2 ± 0,03	0,2 ± 0,03	0,2 ± 0,04
Гиперсаливация, баллы	0,7 ± 0,04	0,6 ± 0,05	0,8 ± 0,06*	0,3 ± 0,06	0,2 ± 0,07	0,3 ± 0,06
Гипергидроз, баллы	0,6 ± 0,05	0,5 ± 0,06	0,6 ± 0,08	0,3 ± 0,05	0,2 ± 0,05	0,3 ± 0,04
Продолжительность нистагма, с	15,5 ± 1,6	15,2 ± 1,8	15,8 ± 1,9	14,6 ± 1,5	14,5 ± 1,8	14,8 ± 1,6
Защитные движения, баллы	0,3 ± 0,04	0,4 ± 0,06	0,3 ± 0,06	0,0 ± 0,00	0,0 ± 0,00	0,0 ± 0,00

Примечание. * – $p < 0,05$ при сравнении показателей в начале и в конце похода по критерию Вилкоксона.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что после прохождения штормовой зоны летчики, отнесенные к дигестивному типу телосложения, стали незначительно хуже переносить статокINETические воздействия. Уменьшение времени переносимости ускорений Кориолиса составило около 7 %. Однако выраженность симптомов укачивания после выхода из штормовой зоны в виде тяжести в голове, ухудшения аппетита, раздражительности в единичных случаях сохранялась до 2–3 сут. В то же время у испытуемых, отнесенных к мышечной группе, не было выявлено изменений СКУ, и переносимость морской качки была хорошей (см. табл.).

Полученные результаты согласуются с данными других исследований, свидетельствующими о том, что действие факторов дальнего морского похода может приводить к повышению уровня нервно-психического напряжения и преждевременному развитию утомления, ухудшению функционального состояния и самочувствия, снижению уровня профессиональной работоспособности и увеличению количества ошибочных действий. Это может приводить к снижению качества выполнения полетного задания и угрожать безопасности полетов [6].

Выявленная тенденция к снижению СКУ у некоторых летчиков в дальнем походе соответствует результатам предыдущих исследований, которые показывают, что при выраженных статокINETических воздействиях у некоторых летчиков могут отмечаться симптомы укачивания [11], а в результате действия комплекса факторов дальнего морского похода может снижаться уровень СКУ.

Выводы

1. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что СКУ человека, с одной

стороны, в некоторой степени предопределена конституциональным типом и может быть спрогнозирована путем анализа соматотипических характеристик, с другой стороны, она может снижаться вследствие действия комплекса факторов дальнего морского похода.

2. Построены 2 дискриминантные функции, позволяющие на основе измерения 7 антропометрических показателей определить дигестивный тип телосложения с точностью 96 %, мышечный тип – с точностью 87 %.

3. Медицинской службе в ходе выполнения дальнего похода, особенно при прохождении штормовой зоны, целесообразно осуществлять динамическое медицинское наблюдение за лицами летного состава, имеющими дигестивный тип телосложения.

Список литературы

1. Ушаков И.Б. Основы авиационной и космической медицины. М., 2007.
Ushakov I.B. Fundamentals of aviation and space medicine. Moscow, 2007.
2. Жданько И.М., Исаенков В.Е., Ворона А.А. и др. Профессиональная надежность военного летчика: медицинские и социально-психологические аспекты // Воен.-мед. журн. 2016. Т. 337. № 6. С. 30–36.
Zhdanko I.M., Isaenkov V.E., Vorona A.A. et al. Professional reliability of military pilots: medical and social-psychological aspects // Voenno-meditsinskiy zhurnal. 2016. V. 337. № 6. P. 30–36.
3. Благинин А.А., Лизогуб И.Н. Медицинские аспекты безопасности полетов // Там же. 2017. Т. 338. № 4. С. 51–55.
Blaginin A.A., Lizogub I.N. Medical aspects of flight safety // Ibid. 2017. V. 338. № 4. P. 51–55.

4. Ушаков И.Б., Бубеев Ю.А., Мазайкин Д.Н., Писарев А.А. Дальний морской поход корабельной ударной группы Северного флота // Там же. 2008. Т. 329. № 7. С. 34–37.

Ushakov I.B., Bubeev Yu.A., Mazaykin D.N., Pisarev A.A. A long-termed navy march of attack group ships of Northern Navy // Ibid. 2008. V. 329. № 7. P. 34–37.

5. Мельник С.Г., Чулаевский А.О. Психофизиологические аспекты деятельности летчиков корабельной авиации ВМФ при эксплуатации высокоманевренных самолетов палубного базирования // Там же. 2011. Т. 332. № 8. С. 56–60.

Melnik S.G., Chulaevsky A.O. Psychophysiological aspects of naval aviation pilots in the operation of highly maneuver carrier-based aircrafts // Ibid. 2011. V. 332. № 8. P. 56–60.

6. Говорун М.И., Соловьев А.В., Голованов А.Е. Конституциональные аспекты устойчивости человека к укачиванию // Рос. оторинолар. 2007. № 6. С. 51–54.

Govorun M.I., Soloviev A.V., Golovanov A.E. Constitutional aspects of human resistance to motion sickness // Rossiyskaya otorinolaringologiya. 2007. № 6. P. 51–54.

7. Соловьев А.В., Савчук О.В., Хартанович И.А. Антропометрические аспекты профессионального отбора лиц, подвергающихся действию знакопеременных ускорений // Новости оторинолар. и логопатологии. 2002. № 4 (32). С. 46–48.

Soloviev A.V., Savchuk O.V., Khartanovich I.A. Anthropometric aspects professional selection of persons exposed to alternating accelerations // Novosti otorinolaringologii i logopatologii. 2002. № 4 (32). P. 46–48.

8. Штефко В.Г., Островский А.Д. Схемы клинической диагностики конституциональных типов. М., 1929.

Shtefko V.G., Ostrovskiy A.D. Schemes of clinical diagnostics of constitutional types. Moscow, 1929.

9. Маркарян С.С., Юганов Е.М., Сидельников И.А. Вестибулярный отбор методом непрерывной кумуляции ускорений Кориолиса // Воен.-мед. журн. 1966. Т. 287. № 9. С. 59–62.

Markaryan S.S., Yuganov E.M., Sidelnikov I.A. Vestibular screening by the method continuous cumulation of Coriolis acceleration // Voenno-meditsinskiy zhurnal. 1966. V. 287. № 9. P. 59–62.

10. Методики исследования в целях врачебно-лётной экспертизы: Пос. для врачебно-лётных комиссий. М., 1995.

Research methods for medical and flight examination: Manual for medical and flight commissions. Moscow, 1995.

11. Сыроежкин Ф.А., Дворянчиков В.В., Благинин А.А., Буйнов Л.Г. Современные средства вестибулярной реабилитации и повышение статокINETической устойчивости // Воен.-мед. журн. 2016. Т. 337. № 4. С. 36–42.

Syroezhkin F.A., Dvoryanchikov V.V., Blaginin A.A., Buynov L.G. Modern means of vestibular rehabilitation and increase of statokinetic stability // Voenno-meditsinskiy zhurnal. 2016. V. 337. №. 4. P. 36–42.

Поступила 20.06.2017

CONSTITUTIONAL TRAITS OF THE STATOKINETIC STABILITY OF FLYING PERSONNEL IN THE CONDITIONS OF FAR NAVY TRIP

Glaznikov L.A., Sorokina L.A., Buynov L.G., Plakhov N.N.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 3. P. 69–72

Dependence of statokinetic stability (SKS) on somatotype was investigated in pilots of the aircraft-carrier fleet on a far trip. On the basis of somatotyping 220 people, 2 discriminant functions were derived to identify, using 7 anthropometric indices, the digestive and muscular somatotype with an accuracy of 96 and 87 % respectively.

The sample of 42 pilots was divided into groups according to the dominating somatotype. Statokinetic stability was determined by tolerance of cumulated Coriolis accelerations. The highest SKS was displayed by pilots with the muscular somatotype and the lowest, with the digestive somatotype. Factors of the far navy trip had a little effect on SKS in pilots of the digestive somatotype and did not impact pilots' flight performance.

Key words: somatotype, statokinetic stability, aircraft carrier, flight personnel, motion sickness, functional state, professional efficiency.

УДК 576.8.078:663.1

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО НАБОРА ПРИЗНАКОВ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ МИКРОБНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ИХ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Ильин В.К.¹, Соловьева З.О.¹, Скедина М.А.¹, Верденская Н.В.^{2,3}, Волкова К.В.³,
Иванова И.А.^{2,3}

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

²АО «Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца», Москва

³Московский физико-технический институт (Государственный университет), г. Долгопрудный, Московская область

E-mail: soloviova@imbp.ru

В работе рассматривается выбор цветовой модели (цифрового представления цвета), метода окраски и собственно процедуры классификации в задаче автоматического различения грамположительных и грамотрицательных групп микроорганизмов в 2 экспериментах. В 1-м эксперименте для получения препаратов использовалась стандартная окраска по методу Грама, во 2-м – модифицированная.

Проведен анализ качества полученных микробных мазков при применении наиболее популярных стандартных процедур: наивного байесовского классификатора (NB) с различными ядрами и метода опорных векторов (SVM). Классификация выполнялась по цветоярким характеристикам в системах RGB и HSV.

Наилучшие результаты показал метод опорных векторов на модифицированной окраске. Представление RGB обеспечивает меньшую ошибку классификации, чем HSV.

Ключевые слова: автоматический анализатор, грамположительные и грамотрицательные микроорганизмы, наивный байесовский классификатор, метод опорных векторов, вектор признаков, геометрические характеристики, цветояркие характеристики.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52. № 3. С. 73–79.

DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-3-73-79

Данное исследование направлено на выбор алгоритмов классификации для автоматического анализа микроскопических изображений микробных мазков. Алгоритмы классификации являются частью специализированного программного обеспечения цитоанализатора и предназначены для распознавания типов клеток, находящихся в поле зрения микроскопа в автоматическом режиме.

Основным инструментом для проведения такого анализа является цифровой анализатор. Он представляет собой биологический микроскоп, оснащенный автоматическим предметным столиком, цифровой видеокамерой и управляющим компьютером со специализированным программным обеспечением.

Такая система позволяет осуществлять автоматическое сканирование мазка при необходимом увеличении (масляная иммерсия, объектив х100) и передавать полученные изображения полей зрения микроскопа на компьютер. Изображения полей зрения обрабатываются с помощью специальной программы и вся полученная информация сохраняется в электронной базе данных.

До сих пор система автоматизированной обработки изображений клеток, включающей в себя построение исходного набора геометрических и цветоярких признаков, выделение из них наиболее информативных, распознавание клеток, представляет собой сложную задачу. Основным объектом исследования при автоматическом определении микрофлоры человека является окрашенный по методу Грама микробный мазок. Этот метод окраски имеет важное диагностическое значение, так как помогает определить таксономическое положение того или иного микроорганизма. Специфика бактериальных клеток по сравнению с другими биологическими объектами, исследуемыми с помощью световой микроскопии, состоит, прежде всего, в малом размере этих объектов [1]. Морфологически исследуемые микроорганизмы представлены палочками (размером 0,3–0,8 мкм в ширину и 1,5–4 мкм в длину) и кокками (размером 0,6–1,0 мкм в диаметре) [2]. Фактически исследования проводятся на пределе оптического разрешения. При этом сами клетки могут быть однотипными как по форме, так и по размеру.

Целью исследования являлась оценка качества распознавания микробных объектов по их изображениям. Задача, решаемая в данной работе, состояла в том, чтобы «научить» машину распознавать грамположительные и грамотрицательные клетки, учитывая, что они могут быть однотипными как по форме, так и по размеру. Поэтому классификация изображений клеток должна проводиться исключительно по цветоярким характеристикам. Поскольку главным и единственным признаком в

распознавании клеток является цвет, то на качество классификации влияет как технология окраски, так и выбор системы представления цвета. Для выполнения этой задачи необходима была доработка программного обеспечения. В работе рассматривается выбор цветовой модели (цифрового представления цвета), метода окраски и собственно процедуры классификации в задаче автоматического различения грамположительных и грамотрицательных клеток для включения в специализированное программное обеспечение.

Методика

Исходные данные, получаемые цитоанализатором при сканировании препарата, представляют собой серию (выборку) цифровых изображений полей зрения микроскопа. Эти данные поступают в память управляющего компьютера и подвергаются обработке. Обработка состоит в автоматическом разбиении изображения на осмысленные участки (сегментация), например: фон, изображение клетки, конгломерат клеток, грязь и т.д. – и дальнейшем измерении характеристик информативных участков. В данном случае интерес представляют цветояркие характеристики микробных клеток, которые оцениваются как средние значения и дисперсии цветовых компонент RGB точек изображения в пределах клетки. Исходными данными является выборка измеренных средних значений и дисперсий цветовых компонент в формате RGB.

Однако в процессе исследования возникла следующая гипотеза. Поскольку основной интерес для исследователя в данном случае представляет различение грамположительных и грамотрицательных клеток, то основными информативными признаками являются цвет объекта и его насыщенность. Эти признаки хорошо описываются другой цветовой моделью – HSV. Поэтому возникло предположение, что преобразование $RGB \rightarrow HSV$ является лучшим решением для дифференциации клеток.

Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН рассмотрены и одобрены исследования, в которых в качестве обследуемых принимали участие российские космонавты (протокол № 324 от 10 июня 2013 г.). При исследованиях покровных тканей космонавтов отмечено преобладание грамположительной кокковой микрофлоры. Автоматизированный анализ проводился в основном по этой группе микроорганизмов. При исследовании кишечной микрофлоры человека наблюдается появление грамотрицательных палочек (*Escherichia coli*, *Klebsiella spp.*, *Proteus spp.*, *Enterobacter spp.*) в концентрациях до 10^8 (КОЕ/г), наряду с грамположительными кокками (*Staphylococcus spp.*, *Enterococcus spp.*) и палочками (*Clostridium spp.*, *Bifidobacterium spp.*, *Lactobacillus spp.*). Следовательно, при автоматизированном

анализе должна оцениваться как грамположительная группа микроорганизмов, так и грамотрицательная. Это вносит необходимость создания специализированных алгоритмов распознавания, а также уточнения окраски препаратов, включая проблему цветояркости различных групп микроорганизмов.

Стандартная окраска по Граму [3] применялась при исследованиях покровных тканей космонавтов, где преобладала грамположительная кокковая микрофлора. При использовании этой окраски этанол воздействует на препарат в течение 30 с.

При исследовании кишечной микрофлоры человека проведена модификация стандартной окраски по Граму. В соответствии с ней этанол воздействует на препарат в течение 2 мин, что дает различия в цветояркости грамположительных и грамотрицательных групп микроорганизмов, необходимые для проведения автоматизированного анализа.

Для выбора наилучшей процедуры классификации грамположительных и грамотрицательных клеток были сформированы обучающие выборки. Границы клеток на изображении выделялись экспертом с использованием программы автоматизированной сегментации. Эксперт указывал тип данной клетки. Выборки содержали изображения отдельно лежащих грамотрицательных и грамположительных (примерно по 150 клеток) клеток двух типов окраски. Использовалась стандартная и модифицированная окраска по Граму.

При решении задачи классификации использовались два алгоритма. В качестве первого алгоритма классификации был взят наиболее распространенный, устойчивый и универсальный алгоритм – наивный байесовский классификатор (NB). Наивный байесовский классификатор [4] основан на применении теоремы Байеса со строгими предположениями о независимости переменных. С одной стороны, он является одним из самых простых, с другой, – достаточно точным, особенно в случае, когда данные являются действительно стохастическими, как в нашем случае. Вторым алгоритмом был выбран метод опорных векторов (Support Vector Machine – SVM), являющийся в настоящее время одним из лучших методов классификации.

В общем случае классификатор $a(x)$ представляет собой функцию, которая ставит в соответствие каждому объекту x из множества X класс y из множества Y .

Байесовский классификатор $a: X \rightarrow Y$ задается формулой

$$a(x) = \arg \max_{y \in Y} P_y \cdot p_y(x),$$

где P_y – априорная вероятность класса y , $p_y(x)$ – апостериорная вероятность класса.

Истинные значения P_y и $p_y(x)$ нам неизвестны, при применении байесовского классификатора

используются их оценки, которые формируются по обучающей выборке.

Оценки априорных вероятностей классов $\hat{P}_y$ вычисляются следующим образом

$$\hat{P}_y = \frac{l_y}{l}, l_y = |X_y^l|, y \in Y,$$

где $X^l = (x_i, y_i)_{i=1}^l$ – обучающая выборка.

Для оценки плотности в точке $\hat{p}_y(x)$ можно использовать оценку Парзена – Розенблатта с ядром K и шириной окна h :

$$\hat{p}_{y,h}(x) = \frac{1}{l_y V(h)} \sum_{i=1}^l [y_i = y] \cdot K\left(\frac{\rho(x, x_i)}{h}\right),$$

где $\rho(x, x')$ – заданная на X функция расстояния.

Ширина окна h существенно влияет на качество восстановления плотности. Оптимальное ее значение можно найти методом скользящего контроля (Leave One Out):

$$h : LOO(h, X^l) = \sum_{i=1}^l [a(x_i; X^l \setminus x_i, h) \neq y_i] \rightarrow \min,$$

где $a(x_i; X^l \setminus x_i, h)$ – алгоритм классификации, построенный по обучающей выборке без объекта x_i . Обычно зависимость $LOO(h)$ имеет характерный минимум, соответствующий оптимальной ширине окна.

Функция ядра K практически не влияет на качество восстановления плотности, однако определяет степень гладкости функции $\hat{p}_h(x)$ и может влиять на эффективность вычислений.

В качестве ядра $K(r)$ можно выбрать, например:

$$K(r) = \frac{1}{2} \cdot [r \leq 1] \text{ – прямоугольное ядро;}$$

$$K(r) = (2\pi)^{-1/2} \exp\left(-\frac{1}{2}r^2\right) \text{ – гауссовское;}$$

$$K(r) = \frac{3}{4}(1-r^2) \cdot [r \leq 1] \text{ – оптимальное (Епанечникова).}$$

Метод опорных векторов [5] считается в настоящее время одним из лучших методов классификации. Обучение метода сводится к задаче квадратичного программирования, имеющей единственное решение, которое эффективно вычисляется даже на больших выборках. Характерным свойством полученного при помощи этого метода решения является разреженность: положение оптимальной разделяющей поверхности зависит лишь от небольшой

доли обучающих объектов, которые и называются опорными векторами; остальные объекты фактически не задействуются.

Суть метода опорных векторов заключается в нахождении такой разделяющей поверхности между двумя классами, которая максимизирует зазор (margin) между ними: строится разделяющая полоса (которая не должна содержать точек ни одного из классов в разделимом случае и может содержать не более определенной доли точек классов в неразделимом); ширина разделяющей полосы максимизируется; объекты, которые оказываются на границе разделяющей полосы или (в неразделимом случае) внутри нее, будут опорными объектами. Итоговый алгоритм классификации представляется в виде

$$a(x) = \text{sign}\left(\sum_{i=1}^l \lambda_i y_i \langle x_i, x \rangle - w_0\right),$$

где суммирование идет только по опорным объектам (для них коэффициент $\lambda_i \neq 0$).

Как можно видеть, алгоритм классификации зависит только от скалярных произведений объектов, но не от самих признаков описаний. Это дает возможность формально заменить скалярное произведение $\langle x, x' \rangle$ ядром $K(x, x') = \langle \psi(x), \psi(x') \rangle$ (ψ – некоторое отображение $\psi: X \rightarrow H$, где H – пространство со скалярным произведением). Поскольку ядро в общем случае нелинейно, такая замена приводит к существенному расширению множества реализуемых алгоритмов и форм разделяющих поверхностей. Часто (в том числе и при решении поставленной задачи) используются такие ядра, как, например:

$$K(u, v) = \langle u, v \rangle^2 \text{ – квадратичное ядро;}$$

$$K(u, v) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma} \|u - v\|^2\right) \text{ – ядро с радиальными}$$

базисными функциями (rbf).

Изначально метод опорных векторов решает задачу классификации объектов между 2 классами, однако существует множество алгоритмов, которые позволяют обобщить метод на большее число классов (в примере классификации двумерных тестовых данных использовался подход one-vs-all, в котором для каждой точки тестовой выборки строятся классификаторы каждого класса относительно остальных, и точка относится к классу, к которому она принадлежит с наибольшим значением отступа от разделяющей поверхности).

Результаты и обсуждение

Проведено 2 исследования со стандартной окраской и с модифицированной окраской по Граму.

Таблица

Средняя ошибка классификации

Количество ошибок	Эксперимент 1				Эксперимент 2			
	RGB		HSV		RGB		HSV	
Классификатор	NB	SVM	NB	SVM	NB	SVM	NB	SVM
Среднее количество ошибок классификации	6,7	6,4	6,9	6,1	0	0	0	0
Средняя доля ошибок классификации в тестовой выборке, %	1,8	1,7	1,9	1,7	0	0	0	0

Результаты исследования при использовании стандартной окраски по Граму приведены ниже.

Имеющаяся выборка грамотрицательных и грамположительных объектов была случайным образом разделена на обучающую и контрольную. Объем выборки каждого класса – 150 клеток. По обучающей выборке выполнялась настройка параметров наивного байесовского классификатора и метода опорных векторов с rbf-ядром. По контрольной выборке оценивалась разделимость классов. Классификация выполнялась по цветоярким характеристикам в системе RGB и по цветоярким характеристикам в системе HSV.

Результаты анализа показали, что метод опорных векторов обеспечивает классификацию с 2,5 % ошибок, наивный байесовский классификатор – 3 %. Представление RGB обеспечивает меньшую ошибку классификации, чем HSV.

Для визуализации использовалось представление микробных объектов в виде проекции точек на плоскость, соответствующую в каждом случае 2 из 6 координат (координатами являются используемые признаки). Все проекции представлены в виде таблицы, где 1-й индекс указывает номер строки, 2-й индекс – номер столбца, содержащих проекцию на плоскость соответствующих признаков (индекс 1, индекс 2). На рис. 1 представлены результаты классификации грамположительных (серый) и грамотрицательных (черный) микробных объектов по цветоярким характеристикам в системе RGB.

На рис. 2 в том же формате представлены результаты классификации грамположительных (серый) и грамотрицательных (черный) микробных объектов по цветоярким характеристикам в системе HSV.

Далее приводятся результаты исследования при использовании модифицированной окраски по Граму.

Выборка микробных объектов, полученных при анализе мазков, окрашенных по модифицированной методике, также была проанализирована с помощью описанных выше алгоритмов классификации. Результаты исследований показали, что классы

грамположительных и грамотрицательных микробных объектов хорошо разделимы: как можно видеть на рис. 3, проекция (1, 5). Качество классификации выше по цветоярким признакам в системе RGB, однако описание объектов в системе HSV позволяет выделить в одном из классов (грамотрицательные объекты) 2 хорошо разделимых кластера (например, проекция (4, 3) на рис. 3), которые по данным RGB разделяются хуже.

Качество работы классификаторов оценивалось при помощи кросс-валидации. На каждой итерации выборка случайным образом разделялась на обучающую и тестовую. Безошибочную классификацию можно обеспечить даже при использовании относительно простых методов (например, наивного байесовского классификатора). Данные HSV дают худшую разделимость классов, однако для точек одного из классов (черный) можно выделить 2 хорошо разделенных кластера (например, проекция (4, 3) на рис. 4), которые по данным RGB разделяются хуже.

В таблице приведено усредненное по итерациям количество ошибочно классифицированных точек для обоих алгоритмов: наивный байесовский классификатор (NB), метод опорных векторов с rbf-ядром (SVM).

Выводы

1. Цветояркие характеристики позволяют уверенно классифицировать грамположительные и грамотрицательные микроорганизмы с допустимым количеством ошибок. Лучшие результаты получены при использовании метода опорных векторов.

2. Выдвинутая гипотеза о «естественности» перехода к цветовой системе HSV не подтвердилась. Преобразование RGB → HSV является преимущественно нелинейным и, видимо, приводит к потере некоторой доли информации.

Работа выполнена в рамках СЧ ОКР «База – Совершенствование – ИМБП-2018».

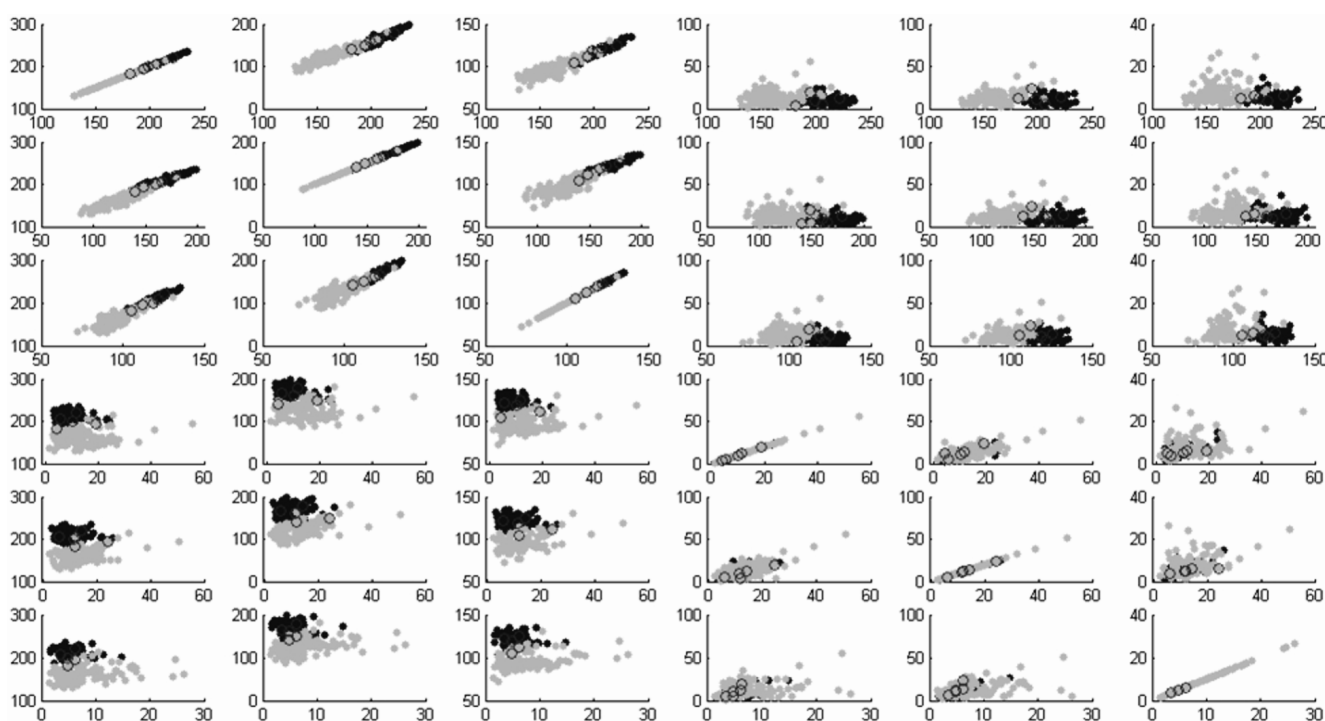


Рис. 1. Классификация грамположительных (серый) и грамотрицательных (черный) микробных объектов по цветояр-
костным характеристикам. В системе RGB. Стандартная методика окраски.

Здесь и на рис. 2–4 координатами являются используемые признаки (измеренные значения средних и дисперсий
компонент)

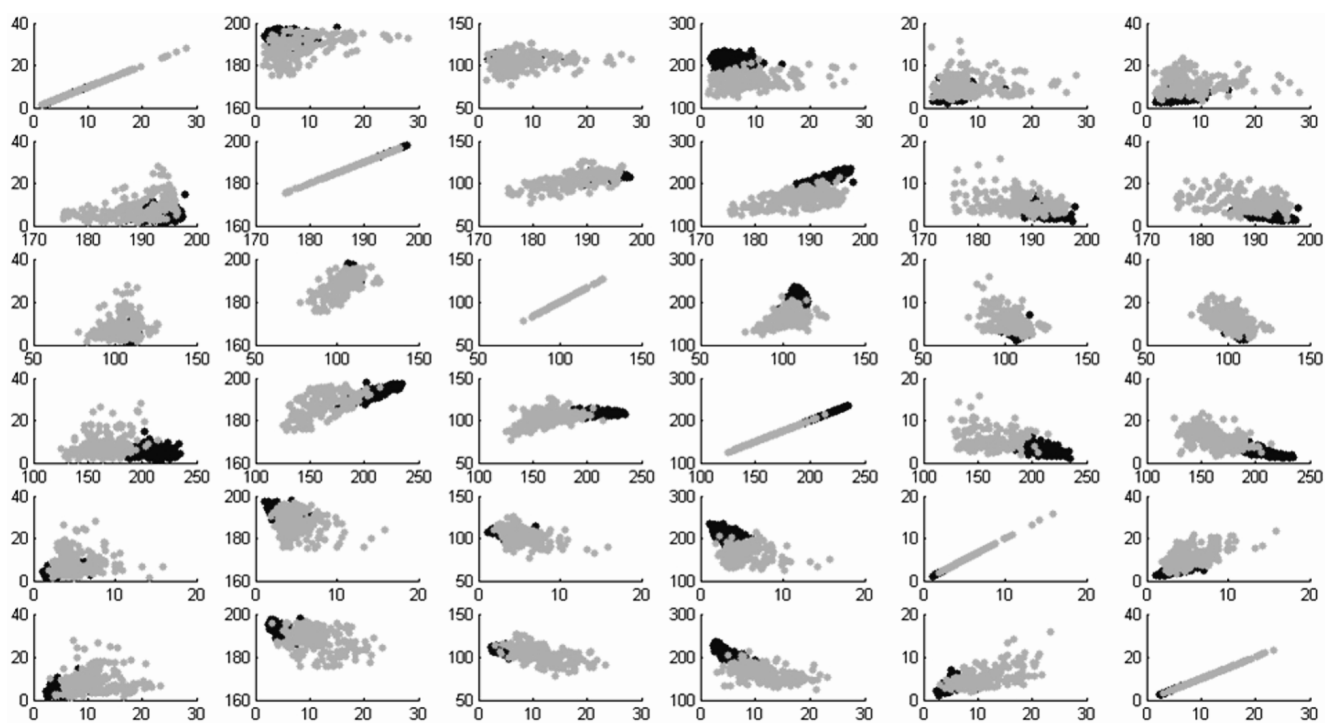


Рис. 2. В системе HSV. Стандартная методика окраски

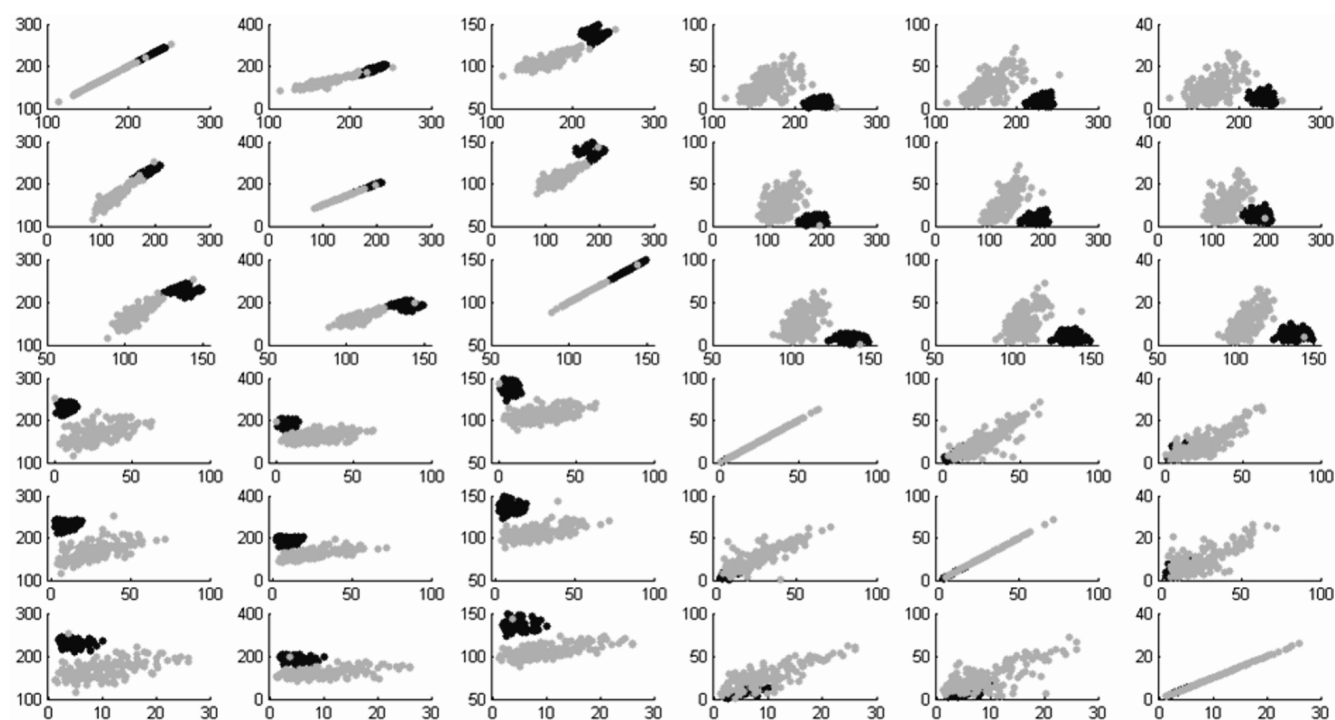


Рис. 3. В системе RGB. Модифицированная методика окраски

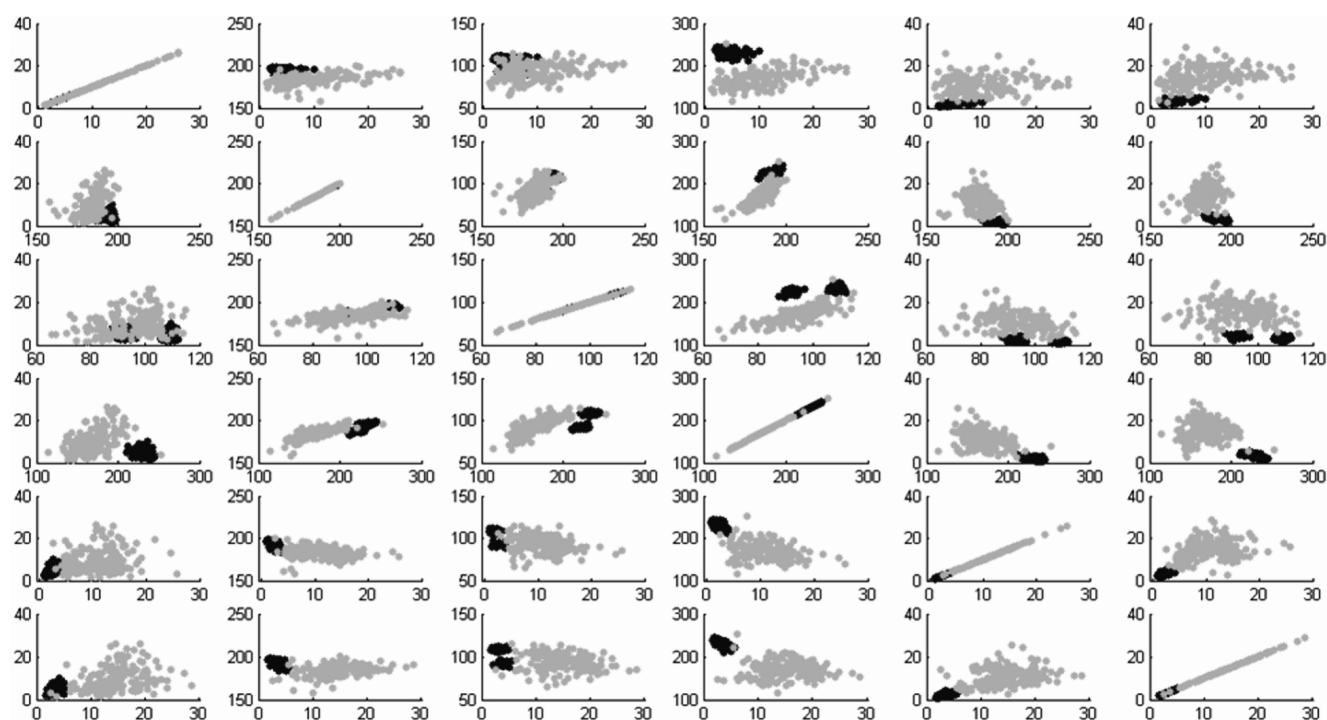


Рис. 4. В системе HSV. Модифицированная методика окраски

Список литературы

1. Соловьева З.О., Скедина М.А., Ильин В.К. и др. Распознавание образа микробных клеток в системе автоматического анализа // Технологии живых систем. 2011. Т. 8. № 4. С. 50–55.
Solovieva Z.O., Skedina M.A., Ilyin V.K. et al. Recognition of an image of microbic cells in system of the automatic analysis // Tekhnologii zhivyykh sistem. 2011. V. 8. № 4. P. 50–55.
2. Определитель бактерий Берджи / Дж. Хоулт, Н. Криг, П. Снит, Дж. Стейли, С.М. Уильямс, ред. М., 1997.
The determinant of bacteria Berdzh / Dzh. Khoul't, N. Krig, P. Snit, Dzh. Steili, S. Uil'yams, eds. Moscow, 1997.
3. Лабинская А.С. Микробиология с техникой микробиологических исследований. М., 1972.
Labinskaya A.S. Microbiology with the technique of microbiological research. Moscow, 1972.
4. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. М., 1989.
Ayvazyan S.A., Bukhshtaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. Applied statistics: classification and dimension reduction. Moscow, 1989.
5. Burges C.J.C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition // Data Mining and Knowledge Discovery. 1998. V. 2. № 2. P. 121–167.

Поступила 22.12.2017

**CHOICE OF AN OPTIMAL SET OF SIGNS
AND EVALUATION OF THE QUALITY
OF MICROBIAL OBJECTS RECOGNITION BY
THEIR IMAGES**

**Ilyin V.K., Solovieva Z.O., Skedina M.A.,
Verdenskaya N.V., Volkova K.V., Ivanova I.A.**

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2018. V. 52. № 3. P. 73–79

The paper covers the choice of a color model (color space), staining methods and the procedure of objects classification in the process of automatic recognition of Gram positive and Gram negative microorganisms in two experiments. The standard Gram staining was used in one experiment and its modification in the other.

Quality of the resulting microbial smears was analyzed using the most popular standard procedures, i.e. the naive Bayes classifier (NB) with various nuclei and the support vector machine (SVM). Classification was performed by color and brightness in the RGB and HSV spaces.

The best results were obtained with SVM and the modified Gram staining. RGB provides a more accurate image classification than HSV.

Key words: autoanalyzer, gram-positive and gram-negative microorganisms, naive Bayes classifier, support vector machine, signs vector, geometric pattern, color and brightness properties.

Редколлегия журнала сердечно поздравляет
с юбилейными датами сотрудников ИМБП:

Беккер Анну Марковну

Берсенева Евгения Юрьевича

Боднар Владимира Павловича

Гусеву Татьяну Евгеньевну

Невструеву Наталью Федоровну

Новикову Наталью Дмитриевну

Степанова Юрия Алексеевича

Степанову Светлану Ивановну

Урнову Ольгу Юрьевну

Уткину Наталью Макаровну

Чуркину Ирину Евгеньевну

Добрые вам пожелания и плодотворной работы!