

АВИАКОСМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

AVIAKOSMICHESKAYA I EKOLOGICHESKAYA MEDITSINA

НАУЧНЫЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC PERIODIC JOURNAL

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ардашев В.Н., д.м.н., профессор
Баранов В.М., д.м.н., профессор, академик РАН
Буравкова Л.Б., д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН
Бухтияров И.В., д.м.н., профессор
Виноградова О.Л., д.м.н., профессор
Давыдов Б.И., д.м.н., профессор
Денисов С.Л., к.м.н. – заведующий издательством
Иванов И.В., д.м.н., профессор
Ильин Е.А., д.м.н., профессор – заместитель главного редактора
Котов О.В., к.м.н.
Меденков А.А., к.психол.н., д.м.н., профессор
Носков В.Б., д.м.н.
Орлов О.И., д.м.н., член-корреспондент РАН
Синяк Ю.Е., к.м.н., д.т.н., профессор
Усов В.М., д.м.н., профессор
Хоменко М.Н., д.м.н., профессор
Шипов А.А., д.б.н. – ответственный секретарь
Родионова Н.В., д.б.н., профессор (Украина)
Mukai Ch., M.D., Ph.D. (Japan)
Sutton J., M.D., Ph.D. (USA)
Suchet L.G., Ph.D. (France)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

2014 Т. 48 № 4

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 1967 ГОДУ

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

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, 2014
© State Research Center RF – Institute of Biomedical Problems Russian Academy of Sciences, 2014

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

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

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

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

Сдано в набор 23.07.2014.
Подписано в печать 01.08.2014.
Формат 60 × 84 1/8.
Гарнитура Таhоmа.
Печать офсетная.
Усл. печ. л. 8,14.
Тираж 300 экз.
Заказ № 338.

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

Содержание

Contents

Обзоры

Reviews

Жданько И.М., Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Шешегов П.М. Фундаментальные и прикладные аспекты профилактики неблагоприятного действия авиационного шума

5 Zhdanko I.M., Zinkin V.N., Soldatov S.K., Bogomolov A.V., Sheshegov P.M. Fundamental and applied aspects of preventing the adverse effects of aviation noise

Экспериментальные и общетеоретические исследования

Experimental and Theoretical Investigations

Афонин Б.В., Седова Е.А., Тихонова Г.А., Соловьева А.А., Валуев В.А. Оценка функциональных изменений печени при моделировании гемодинамических эффектов невесомости в антиортостатическом положении

17 Afonin B.V., Sedova E.A., Tikhonova G.A., Solovieva A.A., Valuev V.A. Evaluation of the liver functional changes due to modeling the hemodynamic effects of microgravity in bed rest studies

Степанова Г.П., Буйлов С.П., Ещенко А.И., Скедина М.А., Воронков Ю.И. Влияние 520-суточной изоляции на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы

23 Stepanova G.P., Buylov S.P., Eshchenko A.I., Skedina M.A., Voronkov Yu.I. Effects of the 520-day isolation on the functional state of the cardiovascular system

Есков К.Н., Виноходова А.Г. Взаимосвязанная операторская деятельность в условиях экспериментального климатического стресса

28 Eskov K.N., Vinokhodova A.G. Interconnected operator's activity under the conditions of experimental climatic stress

Иванов А.И., Лапа В.В., Давыдов В.В., Рябинин В.А., Голосов С.Ю. Надежность восприятия знаковой информации с авиационного жидкокристаллического индикатора

33 Ivanov A.I., Lapa V.V., Davydov V.V., Ryabinin V.A., Golosov S.Yu. Experimental studies of reliability of symbolic information perception from the aviation LCD panel

Огнева И.В., Бирюков Н.С., Лейнсоо Т.А., Ларина И.М. Структура кортикального цитоскелета кардиомиоцитов левого желудочка и волокон камбаловидной мышцы крысы после кратковременного антиортостатического вывешивания

37 Ogneva I.V., Biryukov N.S., Leinsoo T.A., Larina I.M. Structure of the cortical cytoskeleton of the left cardiac ventricle hystiocytes and of soleus muscle fibers in rats following short-time suspension

Воейкова Т.А., Тяглов Б.В., Новикова Л.М., Крестьянова И.Н., Емельянова Л.К., Коршунов Д.В., Морозова Ю.А., Ильин В.К. «Бион-М1». Особенности биологической активности микроорганизмов в условиях 30-суточного космического полета

46 Voeikova T.A., Tyaglov B.V., Novikova L.M., Krestyanova I.N., Emelyanova L.K., Korshunov D.V., Morozova Yu.A., Ilyin V.K. Bion-M1. Biological activities of microorganisms under the conditions of a 30-day space flight

Медникова Е.И., Гурьева Т.С., Дадашева О.А., Сычев В.Н., Морозова Ю.А. Пастообразный корм для экспериментов с мышами на борту автоматических космических аппаратов **53**

Mednikova E.I., Gurieva T.S., Dadasheva O.A., Sychev V.N., Morozova Yu.A. Development of paste-type food for experiments with mice onboard unmanned spacecrafts

Величко В.В., Ушакова С.А., Тихомиров А.А. Ионообменный субстрат как источник мобильных форм азота при конвейерном методе выращивания овощных растений на почвоподобном субстрате **57**

Velichko V.V., Ushakova S.A., Tikhomirov A.A. Ion-exchange substrate as a source of nitrogen mobile forms in the conveyor method of vegetables cultivation on artificial soil

Юбилей

Jubilee

Книга В.В. Кафедре авиационной и космической медицины 75 лет **63**

Kniga V.V. Department of aviation and space medicine: 75 years

Хроника и информация

Chronicles and Information

Информационное письмо. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Баротерапия в комплексном лечении и реабилитации раненых, больных и пораженных» **69**

Information letter. The IXth All-Army theoretical and practical conference with international participation on Barotherapy in Complex Treatment and Rehabilitation of the Wounded, Sick and Affected

ОБЗОРЫ

УДК 534.221:629.73.017.26

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОФИЛАКТИКИ НЕБЛАГОПРИЯТНОГО ДЕЙСТВИЯ АВИАЦИОННОГО ШУМА

Жданько И.М., Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Шешегов П.М.

Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил МО РФ, Москва
E-mail: zinkin-vn@yandex.ru

В статье действие авиационного шума рассматривается в качестве физического вредного фактора, имеющего экологическую, гигиеническую, клиническую и социальную значимость. Воздействие шума способствует развитию общей и профессионально обусловленной патологии, хронических заболеваний, приводит к снижению профессионального долголетия.

Изложены современные представления об особенностях формирования авиационного шума, влияния его на окружающую среду, население, авиационных специалистов; дана характеристика основных направлений профилактики его неблагоприятного действия, ключевым из которых является применение эффективных средств защиты от шума.

Ключевые слова: медицинская акустика, авиационный шум, защита от шума, физиология слуха, инженерная акустика

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 4. С. 5–16.

Шум занимает ведущее место среди неблагоприятных факторов производственной среды, а его воздействие приводит к снижению работоспособности, увеличению общей и профессиональной заболеваемости. Широкая распространенность шума в промышленности и на транспорте, увеличение экономических потерь за счет роста заболеваемости лиц «шумовых» профессий, недостаточная эффективность средств защиты от шума и мероприятий по профилактике шумовой патологии, расширение негативного влияния шума на окружающую среду и население обуславливают необходимость исследования механизмов развития и способов профилактики шумовой патологии [1–4].

В Российской Федерации более 2 млн человек работают в условиях повышенного воздействия акустических колебаний (шума, инфразвука и ультразвука), а доля рабочих мест, не соответствующих гигиеническим нормативам по шуму, составляет 25,48 %. Неудовлетворительные условия труда, воздействие вредных производственных факторов на организм работающих является основной причиной формирования у них профессиональных забо-

леваний, в структуре которых доминирует шумовая патология – нейросенсорная тугоухость (НСТ) [1].

Проблемы изучения развития и профилактики шумовой патологии остаются актуальными и для авиации. Это обусловлено тем, что воздушные суда (ВС) и вспомогательное оборудование на авиационных объектах (аэродромы, авиаремонтные заводы, базы, полигоны) являются источниками высокоинтенсивного шума. Научно-технический прогресс, развитие и внедрение новых технологий ведут к модернизации существующих и созданию перспективных образцов авиационной техники, обладающих повышенной энерговооруженностью, что обуславливает увеличение риска шумовой патологии у обслуживающего персонала.

Цель данной работы показать особенности формирования авиационного шума (АШ), влияния его на окружающую среду, население, авиационных специалистов (АС) и оценить основные направления профилактики его неблагоприятного действия.

Источники авиационного шума и их акустическая характеристика

Основным источником шума на рабочих местах АС являются ВС. Генерация шума происходит за счет работы основных и дополнительных авиационных двигателей, компрессоров, кондиционеров, а также корпуса летательного аппарата (ЛА) во время полета. При подготовке ВС к полету, при разбеге, взлете, наборе высоты доминирует шум двигателя, а при крейсерском полете и посадке – аэродинамический шум, вызываемый обтеканием воздуха корпуса самолета [5, 6].

В табл. 1 представлена характеристика акустической обстановки на рабочих местах инженерно-технического состава (ИТС) на аэродроме при обслуживании ВС с работающими двигателями.

Источники шума, обусловленные работой двигателя, разделяют на внутренние и внешние. Основным внешним источником для разных типов турбореактивных двигателей является процесс смешивания реактивной струи с атмосферным воздухом за пределами двигателя.

Характеристика шума на рабочих местах ИТС, создаваемого различными типами воздушных судов с работающими двигателями

Вид воздушного судна	Диапазон УЗД (дБ) в полосе частот (Гц)		Общий УЗД, дБ Лин	Уровень звука, дБА	Время действия шума за летную смену, ч	L _{Аэвр} дБА	Доза шума, усл. ед.
	2-16	31,5-8000					
Самолеты дальней авиации	84-97	101-120	118-123	118-122	0,15-1,8	96-116	0,24-283
Самолеты истребительно-бомбардировочной авиации	93-107	98-123	117-130	109-129	0,2-1	94-118	0,25-187
Самолеты транспортной авиации	95-104	96-123	119-126	118-124	0,4-2,25	105-114	6-177
Вертолеты	93-105	96-119	116-124	116-123	0,15-0,66	102-113	2-52

Примечание. Здесь и в табл. 3 указан диапазон параметров в зависимости от количества вылетов за смену.

Шум образуется при работе компрессоров, камеры сгорания, турбины, вентилятора двигателя. Турбореактивные и турбовентиляторные двигатели создают высокочастотный широкополосный шум с максимумом спектра в области 1–4 кГц.

У винтовых ВС винт используется в качестве движителя дозвуковых самолетов, и его вращение является основным источником шума самолетов этого типа. Винт создает аэродинамический шум в результате турбулентности натекающего потока, образования вихрей, срыва вихрей, взаимодействия ударных волн с потоком на концах лопастей и др. Спектр шума винтовых ВС – широкополосный, с выраженными дискретными составляющими на низких частотах.

Более сложные процессы лежат в основе генерации шума при эксплуатации вертолетов. Основная особенность – наличие 2 винтов, другая – взаимодействие несущего винта и ЛА способствует генерации дополнительного шума. Частота следования лопастей для несущего винта равна приблизительно 21 Гц, для рулевого – около 100 Гц. Характерной особенностью генерации шума многими типами вертолетов является превалирование в спектре низкочастотных акустических колебаний.

Шум в салоне ВС обусловлен большим количеством источников: силовая установка, турбулентный пограничный слой и другие источники, связанные с обтеканием самолета, внутренние источники. Наибольшие уровни шума регистрируют, когда двигатели установлены на крыле и пассажирский салон находится под воздействием ближнего акустического поля источников. При компоновке силовой установки в хвостовой части фюзеляжа снижается вклад высокочастотного шума, но возрастает доля структурного звука (звуковой вибрации). Турбулентность

вокруг фюзеляжа создает случайное поле интенсивных аэродинамических пульсаций в звуковом диапазоне частот, которые приводят к колебаниям поверхности фюзеляжа и излучению шума. Такой источник шума начинает существенно сказываться на больших, в основном сверхзвуковых, скоростях полета. Спектр аэродинамического шума широкополосный, но при увеличении толщины пограничного поля в нем возрастает интенсивность низкочастотных составляющих. Внутренний шум в самолете в большей мере определяется системой кондиционирования, к элементам которой относят выпускные клапаны, турбохолодильники, вентиляторы и др. Шум в салоне ВС, как правило, имеет выраженный низко- и среднечастотный спектр в диапазоне 31,5–500 Гц, который существенно изменяется в зависимости от условий полета. В табл. 2 представлены данные по акустической обстановке на рабочих местах летно-подъемного состава во время полетов [3, 7, 8].

Источниками шума на аэродроме являются вспомогательные транспортные средства и оборудование, используемые при подготовке ВС к полетам (аэродромно-подвижный агрегат, топливно-насосная установка, аэродромный кондиционер, установка для проверки гидросистем, тепловые машины и др.), а также технико-эксплуатационные части при проведении ремонтно-регламентных работ. В табл. 3 приведены акустические параметры на указанных рабочих местах АС [2, 6, 8].

На авиационных заводах и авиаремонтных базах основными источниками шума являются моторно-испытательные станции (МИС) и цеха, в которых осуществляют ремонт и испытание авиационных агрегатов. Результаты измерений на рабочих местах таких АС представлены в табл. 4 [2].

Таблица 2

Уровни звукового давления в октавных полосах в кабинах и салонах ВС

Тип воздушного судна	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Ту-154	78	78	80	76	77	78	78	74	72	84
Ил-62	86	84	82	80	83	84	84	74	72	89
Ил-96	80	79	80	83	80	77	73	65	50	91
Як-42	83	75	71	71	80	79	75	70	63	83
Ан-12	80	94	86	86	85	85	82	78	75	84
Ан-24	82	102	99	96	88	80	82	74	74	92
Ми-4	112	110	105	102	90	88	78	76	66	103
Ми-8	96	102	96	88	86	84	78	72	72	89
Ту-95	85	91	85	88	91	81	77	80	70	97
Ан-22	60	60	110	102	96	88	86	92	91	104
Ил-76	79	80	90	96	86	82	76	67	59	89
Истребители	86	88	88	88	89	98	94	96	98	98

Таблица 3

Характеристики шума на рабочих местах авиационных специалистов при работе вспомогательного оборудования

Наименование оборудования	Диапазон УЗД (дБ) в полосе частот (Гц)		Общий УЗД, дБ Лин	Уровень звука, дБА	Время действия шума за летную смену, ч	L _{Аэкв.} дБА	Доза шума, усл. ед.
	2–16	31,5–8000					
Аэродромный подвижный электроагрегат (АПА-5Д)	101–103	64–100	110	86	2–7	80–85	0,1–0,9
Установка для проверки гидросистем (УПГ-300)	76–78	78–113	113	113	2–7	107–112	40–438
Аэродромный кондиционер (АК-04М)	44–66	78–105	106	106	2–7	100–105	8–87
Вспомогательная силовая установка	78–79	83–116	120	120	2–6	114–119	198–1493
Топливо-насосная установка (ТНУ)	83–89	80–123	126	126	1–3	117–122	203–1876

Таблица 4

Характеристика акустической обстановки на рабочих местах при испытании авиационных двигателей и их агрегатов на авиаремонтных заводах

Наименование рабочего места и испытуемого двигателя или агрегата	Время рабочей смены, ч	Инфразвуковой диапазон				Звуковой диапазон			
		L _{min} ' дБ	L _{max} ' дБ	L _{экв.} ' дБ Лин	Доза инфра-звука, %	L _{Amin} ' дБА	L _{Amax} ' дБА	L _{Аэкв.} ' дБА	Доза шума, %
МИС, двигатель истребителя типа МиГ-29	6,5	50	84	77	0,3	65	118	100	8125
МИС, двигатель истребителя типа Л-39	6,5	37	86	75	0,2	65	110	105	25 700
МИС, двигатель транспортного самолета Ан-76	6,5	67	102	96	20	79	122	109	64 545
Цех ремонта, форсажные регуляторы	6	35	77	75	0,1	79	106	102	11 888
Цех ремонта, привод гидролопатонок	6	37	84	82	0,8	79	105	104	18 842
Цех ремонта, распределитель топлива	6	32	71	69	0,04	97	105	102	11 888
Цех ремонта, регулятор оборотов расхода топлива	6	36	83	84	1	95	103	102	11 888

Итак, анализ акустической обстановки на рабочих местах АС позволяет выделить следующие особенности АШ [6, 9, 10]:

- широкополосный характер шума, включая акустические колебания низко-, средне- и высокочастотного звукового диапазона;
- наличие инфразвука (ИЗ);
- уровни звукового давления (УЗД) практически во всех октавных частотах превышают 100 дБ, что позволяет классифицировать шум как высокоинтенсивный;
- спектр шума широкополосный, с наличием нескольких максимумов;
- шумовое воздействие носит циклический характер, т.е. периоды активной нагрузки чередуются с паузами от нескольких десятков минут до нескольких часов, что позволяет характеризовать его как непостоянный;
- наличие нескольких источников шума.

Указанные особенности АШ обуславливают ряд проблем, которые необходимо учитывать при планировании развития авиационной техники и мест дислокации авиационных объектов:

- в большинстве развитых стран с каждым годом ужесточают требования санитарных норм по шуму для рабочих мест и населения, что все больше входит в определенное противоречие с темпами развития авиационного транспорта и техническими возможностями по борьбе с АШ с учетом обеспечения безопасности полетов;
- высокая энерговооруженность военных ВС и ряд тактико-технических требований к объектам авиационной техники (высокая скорость и маневренность, преодоление больших расстояний и др.) не позволяют в полном объеме реализовать мероприятия по борьбе с АШ непосредственно в источнике его образования, которые используют в гражданской авиации;
- широкополосный характер АШ, его высокая интенсивность и наличие ИЗ создают большие трудности для эффективного использования существующих средств защиты;
- совершенствование ВС сопровождается увеличением времени предполетной подготовки и необходимости использования вспомогательной техники, что приводит к увеличению акустической нагрузки на АС.

Исходя из вышеизложенного, можно прогнозировать, что в ближайшие годы количество и интенсивность источников АШ будет увеличиваться, а АС будут продолжать подвергаться высокой акустической нагрузке на своих рабочих местах.

Обеспечение безопасности населения от авиационного шума

Наиболее значимым из физических факторов, оказывающих влияние на среду обитания человека,

является акустический шум. Доля обращений граждан на его воздействие (в процентах от общего количества жалоб на влияние физических факторов в ряде субъектов РФ) превышает 70 %. Воздействию шума с уровнем, превышающим предельно допустимый, в России подвергаются несколько миллионов человек [1].

На территориях, прилегающих к аэропортам, аэродромам и авиационным предприятиям, основным источником шума являются работающие авиационные двигатели во время запуска и прогрева, при взлете и посадке летательных аппаратов, а также при проведении регламентных и ремонтных работ. Во многих регионах, несмотря на расположение аэропортов в черте населенных пунктов, работа по контролю АШ на селитебной территории не проводится. На территории РФ активно функционируют 247 аэропортов, 38 % из которых расположены в черте населенных пунктов.

Критерием возможности жилищного строительства в зоне аэропортов являются обоснованные и четко обозначенные границы санитарно-защитной зоны. В последние годы наметилась определенная тенденция к увеличению числа аэропортов в населенных пунктах с установленными границами. Тем не менее для половины аэропортов границы санитарно-защитной зоны не установлены.

К факторам, влияющим на шумовой режим населенных пунктов, относят: расстояние от взлетно-посадочной полосы, частоту полетов и типы ВС, базирующихся на аэродроме, высоту и скорость полета. С увеличением высоты пролета самолетов уровни АШ на местности уменьшаются.

Наиболее неблагоприятная акустическая обстановка фиксируется на территориях жилой застройки, находящихся в проекции взлета и посадки ВС. При снижении по глиссаде образуется широкополосный шум, в спектре которого доминирует низкочастотный шум и ИЗ. На это указывает максимум УЗД в диапазоне 31,5–500 Гц и разница между величиной $L_{\text{ЭКВ}}$ и $L_{\text{АЭКВ}}$ более 10 дБ. Уровни звукового давления этого шума превышают предельно допустимые уровни (ПДУ) в звуковом диапазоне от 125 до 8000 Гц. В инфразвуковой области УЗД ниже ПДУ. Независимо от типа ВС их спектры имеют сходство, что можно объяснить тем, что при посадке преобладает аэродинамический шум, образующийся преимущественно за счет характеристик планера [11–14].

Максимальный уровень шума в жилых кварталах достигает 90–92 дБА, эквивалентный уровень – 75–85 дБА. Максимальная шумовая нагрузка в жилых районах вдоль трасс ВС достигает 85–103 дБА. В соответствии с работой [15] $L_{\text{АЭКВ}}$ на территории жилых застроек не должен превышать 55 дБА в дневное время и 45 дБА – в ночное, а $L_{\text{АМАКС}}$ – 70 и 60 дБА соответственно. По ГОСТу [16] значения для этих пока-

зателей выше: для $L_{\text{АЭКВ}}$ – 65 и 55 дБА и $L_{\text{АМАКС}}$ – 85 и 75 дБА соответственно. Измерения за период 24 ч показали, что круглосуточное движение ВС создает акустические условия, при которых средние максимальные уровни значительно – на 10–20 дБА превышают фоновые. В течение суток наименьшие почасовые эквивалентные уровни звука наблюдают в период с 1.00 до 4.00, наибольшие – с 7.00 до 18.00.

Методология исследования шума, создаваемого аэропортами, должна строиться на результатах регулярного мониторинга АШ, так как лишь такой подход поможет получить истинную картину акустического загрязнения местности. Такой мониторинг реализуется лишь в 34 аэропортах (14 % аэропортов России). Более широкое использование станций мониторинга позволило бы выявлять факты нарушения ограничений по фактору АШ, установленных для ЛА, и шумового режима территорий.

Население, проживающее на расстоянии до 2 км от аэропортов, получает суточную дозу АШ, в 3 раза превосходящую ПДУ. Люди предъявляют жалобы на нарушение сна, головную боль, шум в ушах, головокружение, тошноту, тахикардию, раздражительность, проблемы с концентрацией внимания и памятью, вибрацию грудной и брюшной стенок, что может быть причиной необоснованного чувства страха и др. Среди взрослого населения выявлен рост общей и хронической заболеваемости. Отмечают также более высокие показатели заболеваемости по классу болезней нервной системы (астено-невротический синдром, вегето-сосудистые нарушения) и сердечно-сосудистой системы (ишемическая болезнь сердца, артериальная гипертензия). Наблюдается отставание школьников в физическом развитии, на что указывает снижение роста, массы тела и окружности грудной клетки. Психофизиологические исследования установили, что в зоне влияния аэропорта умственная работоспособность детей к концу учебной недели снижается. При диспансерном обследовании у них обнаружены донологические изменения со стороны сердечно-сосудистой и нервной систем, проявляющиеся в повышенной утомляемости, местных и общих вегетативно-сосудистых расстройствах, превышении артериального давления [11, 17].

Известно, что при равных уровнях АШ вызывает чувство раздражения у гораздо большего числа обследуемых по сравнению с шумом от автомобильного и железнодорожного транспорта. Объяснением этому является наличие в спектре АШ высоких частот звукового диапазона с более высоким уровнем, действие которых сопровождается неприятными субъективными ощущениями. Подтверждением этому являются данные МРТ головного мозга, которые показали, что наиболее неприятные эмоции у человека появляются

при звуках в диапазоне 2–5 кГц. Кроме того, наличие в спектре АШ низких частот и ИЗ способствует распространению шума на большую территорию жилых построек и еще больше усугубляет неблагоприятное действие на психоэмоциональное состояние населения [18, 19].

Имеющиеся в нашей стране 2 действующих руководящих документа по нормированию АШ на территории жилой застройки, прилегающей к аэропортам [15, 16], создают определенные трудности в трактовке результатов акустических измерений между представителями авиации и муниципальными органами госсанэпиднадзора. Требования [15] по шуму более жесткие и снижены на 10–15 дБА по сравнению [16], тем самым не позволяя в большинстве случаев предложенными мероприятиями достичь нормативных значений, особенно для $L_{\text{АМАКС}}$. Кроме того, в обоих документах рекомендовано при нормировании учитывать 2 показателя: $L_{\text{АЭКВ}}$ и $L_{\text{АМАКС}}$. Однако по рекомендациям ИКАО следует руководствоваться одним показателем – $L_{\text{АЭКВ}}$, уровень которого для большинства стран соответствует 75 дБА для дневного времени и 65 дБА для ночного времени.

Поэтому необходимо признать, что действующая в России система нормирования для АШ для территории жилой застройки требует обновления и разработки нового документа, учитывающего реалии и международный опыт. Считаем, что в этом документе должен быть предусмотрен контроль не только за уровнем шума, но и ИЗ [13, 19].

Все вышеизложенное в полной мере относится и к военной авиации, аэродромы которой в большинстве случаев относятся к аэродромам с низкой интенсивностью полетов и с различным максимумом загрузки полетов в течение суток. В настоящее время задача обеспечения безопасности населения от АШ при эксплуатации военных аэродромов не входит в число приоритетных. Однако за последние несколько лет этот вопрос обострился.

Таким образом, обеспечение защиты населения от АШ требует решения ряда проблем:

- обновление нормативной базы нормирования АШ для территории жилой застройки;
- определение границ санитарно-защитной зоны и организации мониторинга АШ для каждого действующего авиационного объекта независимо от вида авиации;
- создание структуры, которая должна заниматься решением задач обеспечения безопасности населения, проживающего вблизи территории авиационных объектов;
- проведение эпидемиологических исследований заболеваемости населения, проживающего на территории вблизи аэродромов, направленных на получение достоверных данных о специфичности патологии, обусловленной воздействием АШ.

Влияние на окружающую среду

В последние годы отмечается увеличение количества и мощности антропогенных источников акустических колебаний, к которым относят наземный, воздушный и водный транспорт, шахтные вентиляторы, газо- и нефтепроводы. Наличие в большинстве из указанных источников низких частот и ИЗ способствует их распространению на большие расстояния с незначительной потерей энергии [19–22]. Этот фактор может иметь большое значение для живой природы, оказывать влияние на физиологические, поведенческие и репродуктивные функции животных.

Экологические аспекты воздействия акустических колебаний на окружающую природную среду исследовались в основном в связи с расширением сети автомагистралей, увеличением аэропортов и скорости полетов ВС (звуковой удар). Тем не менее влияние шумового загрязнения на фауну при многих экологически опасных видах производственной деятельности изучено недостаточно полно. Во многом именно этим объясняется отсутствие федеральных экологических нормативов и стандартов допустимого акустического загрязнения окружающей среды. Между тем снижение уровней шума и ИЗ, возникающих при эксплуатации крупных и протяженных технологических объектов, до природных (фоновых) значений следует рассматривать как одно из важных направлений природоохранной деятельности [19].

Проблема экологической безопасности от АШ является актуальной и для военно-воздушных сил, поэтому требует своего решения (создание структурного подразделения, разработка нормативной базы и организации мониторинга).

Таким образом, проблема акустического загрязнения окружающей среды, в том числе за счет АШ, входит в число приоритетных экологических проблем.

Медицинские аспекты

Гигиенические исследования показали, что на рабочих местах АС действует комплекс неблагоприятных факторов условий профессиональной деятельности. Степень отклонения фактических значений факторов рабочей среды и трудового процесса от гигиенических нормативов находится в диапазоне от допустимого до опасного. Наиболее выраженный неблагоприятный вклад в класс условий труда оказывают шум и ИЗ. В соответствии с руководством [23] для ИЗ при обслуживании ВС дальней авиации класс условий труда АС соответствует допустимому классу 2, транспортной авиации и вертолетов – вредному классу 3.1 и истребительно-бомбардировочной авиации – вредному классу 3.2. По экви-

валентному уровню звука условия труда АС соответствуют опасному классу 4 [2, 24].

При комбинированном действии вредных факторов дается общая гигиеническая оценка с учетом эффекта их суммации. Поэтому наличие на рабочих местах АС одновременно шума и ИЗ позволяет оценивать условия труда на одну ступень выше. Правомерность такого подхода обусловлена еще и тем, что оба фактора способны оказывать вредное действие на одни и те же органы и системы, что приводит к суммации и потенцированию их неблагоприятных эффектов [23, 25].

Сложная гигиеническая обстановка на рабочих местах АС требует от авиационной медицинской службы проведения комплекса мероприятий по профилактике неблагоприятного влияния АШ и организации надлежащего контроля на рабочих местах.

Особое место в системе профилактических мероприятий должна занимать аттестация рабочих мест. Она проводится на основе документов [26, 27]. В соответствии с ними на рабочих местах АС необходимо измерять не только шум, но и ИЗ, который включен в перечень вредных производственных факторов. Кроме того, должно оцениваться наличие средств защиты от шума и соответствие их эффективности условиям труда. Аттестации проводятся не реже одного раза в 5 лет. Предусмотрено проведение внеплановой аттестации. Этим положением нужно пользоваться при поступлении новых видов ВС и авиационного оборудования, если они являются источником шума.

Известно, что вредные и опасные производственные факторы приводят к увеличению уровня хронической и общей, производственно обусловленной и профессиональной заболеваемости [23, 28]. Установлено, что у АС общая заболеваемость выше, чем в контрольной группе: число случаев первичной заболеваемости составило $66,1 \pm 7,5$, в контроле – $43,8 \pm 0,6$ ($p < 0,05$), число случаев нетрудоспособности – $73,3 \pm 11,6$ и $53,2 \pm 2,9$ ($p > 0,05$), а число дней нетрудоспособности – $655,3 \pm 44,9$ и $431,8 \pm 7,2$ ($p < 0,05$) соответственно. Число случаев и число дней нетрудоспособности относятся к уровню заболеваемости «средний», что выше показателей в контрольной группе. Среднее значение показателя «число дней нетрудоспособности» в группе АС достоверно ($p < 0,05$) выше, чем в контрольной группе. В классе болезней нервной системы оно больше в 2,4 раза, глаз – в 3 раза, слуха – в 5,4 раза, органов кровообращения – в 6,3 раза, органов дыхания – в 2,2 раза, органов пищеварения – в 2,3 раза, кожи – в 3,2 раза. В структуре заболеваемости преобладают классы болезней органов дыхания (41,1 % в группе АС, работающих на аэродромах, и 29 % в контроле), системы кровообращения (11,4 и 2,8 % соответственно),

органов пищеварения (10,5 и 7,1 %), кожи и под-кожной клетчатки (6,5 и 3 %), нервной системы (6,5 и 4,1 %) [2, 29].

Анализ заболеваемости АС позволяет утверждать, что заболевания органа слуха обусловлены специфическим действием высокоинтенсивного шума, а развитие болезней сердечно-сосудистой, нервной и пищеварительной систем – неспецифическим проявлением шумовой патологии [6, 29, 30]. Наряду с этим, повышение уровня заболеваемости по классам болезней органов дыхания, глаз и кожи можно объяснить прямым воздействием инфразвука [9, 20, 21]. Это указывает на то, что воздействие АШ сопровождается увеличением общей заболеваемости и болезней, характерных для действия шума и ИЗ, и указывает на феномен суммирования неблагоприятных эффектов при сочетанном влиянии шума и ИЗ [9, 31].

При исследовании причинной связи различных заболеваний с условиями профессиональной деятельности рассчитаны показатели риска. Установлено, что болезни органов дыхания имеют «малую» степень связи с работой, болезни глаз и органов пищеварения – «среднюю», болезни нервной системы – «высокую», болезни органов кровообращения и кожи – «очень высокую». Рассчитанные статистические показатели позволяют утверждать, что перечисленные болезни АС являются профессионально обусловленными. Самую высокую степень связи имели болезни слуха – «почти полная», что характерно для профессиональных заболеваний. Подтверждают это и результаты углубленного медицинского обследования АС, у которых НСТ выявлена у 28 % обследуемых, а начальные явления НСТ – у 20 % [32–34].

К настоящему времени в нашей стране сформировалось четкое понимание того, что воздействие вредных факторов может привести к развитию профессиональных заболеваний, что регламентировано Приказом Минздравсоцразвития РФ [35]. В п. 2.4.1 раздела II данного документа указаны заболевания, связанные с воздействием производственного шума: шумовые эффекты внутреннего уха и двусторонняя НСТ. Профессиональные заболевания, обусловленные воздействием ИЗ, указаны в п. 2.4.2: НСТ двусторонняя, вестибулярный синдром, выраженные расстройства вегетативной нервной системы.

Понятие «профессиональное заболевание», предусмотренное рядом федеративных правовых актов и Международной организацией труда, в Вооруженных силах России не применяется. При проведении военно-врачебной экспертизы связь заболевания военнослужащих с условиями и содержанием военной службы определяется термином «военная травма». Установлен перечень факторов, действие которых может рассматриваться в качестве этиологического фактора заболевания. Однако

шум и инфразвук в этот перечень не входят.

Необходимость усиления контроля при отборе АС при работе с источниками шума и ИЗ требует совершенствования системы диспансерного наблюдения за военнослужащими, работающими в условиях воздействия шума и ИЗ.

Таким образом, необходимо решение ряда медицинских проблем, ориентированных на сохранение здоровья АС, подвергающихся воздействию АШ:

- усиление контроля за аттестацией рабочих мест;
- переработка нормативных документов, устанавливающих ПДУ АШ 85 дБА, что выше федеральной величины 80 дБА, и не регламентирующих воздействие ИЗ;
- приведение в соответствие с федеральными и международными требованиями порядка освидетельствования военнослужащих, работающих с источниками шума и ИЗ, а также совершенствование диспансерного наблюдения;
- совершенствование системы профессионального отбора лиц, работающих с источниками АШ;
- разработка концепции «шумовой болезни» и «инфразвуковой болезни», требующей своего завершения и получения юридического статуса в качестве нозологических форм;
- исследование особенностей шумовой и инфразвуковой патологии вследствие воздействия АШ, в том числе при их сочетанном действии.

Влияние на работоспособность авиационных специалистов

Исследования показали, что действие АШ способно вызывать у человека комплекс преимущественно неприятных субъективных ощущений. В большинстве случаев это проявлялось наличием жалоб на головную боль, головокружение, тошноту, ощущение дискомфорта, нервозность, утомление, нарушение сна, ухудшение слуха. Наличие разнообразных по генезу жалоб указывает в первую очередь на изменение функционального состояния ЦНС [2, 6, 9, 11].

Исследование ЦНС у лиц, систематически подвергающихся воздействию АШ в производственных и лабораторных условиях, позволило выявить снижение скорости переработки информации, увеличение времени простой и сложной сенсомоторной реакции на свет и звук, что указывало на нарушение равновесия корковых процессов с преобладанием процессов торможения. Как правило, отклонение указанных показателей от исходных не превышало 20 %. Величина указанных нарушений зависела как от параметров шума (уровня и продолжительности действия), так и от личностных факторов (уровня тревожности, степени экстраверсии и др.) [2, 36]. В процессе выполнения заданий операторского

профиля испытуемые предъявляли жалобы на сонливость, затруднение концентрации и переключения внимания, ощущение дискомфорта.

Воздействие АШ приводит к снижению работоспособности, функциональной надежности профессиональной деятельности и способствует увеличению числа ошибочных действий АС [8, 37–38]. Установлена математическая зависимость между уровнем звука на рабочих местах АС и потенциальной ненадежностью действий. Кривая модели вероятности события при увеличении уровня шума до 110 дБА носит полого восходящий характер, а при более высоких уровнях она приобретает экспоненциальный вид. Данную модель рекомендовано использовать для характеристики надежности действий АС при воздействии АШ [37, 38].

Таким образом, необходимо учитывать, что АШ может явиться причиной авиационных инцидентов, происходящих вследствие ошибочных действий АС, обусловленных снижением их работоспособности вследствие нескомпенсированного влияния шума. Поэтому мероприятия по профилактике неблагоприятного действия АШ должны входить в комплекс задач при обеспечении безопасности полетов.

Проблемы защиты от авиационного шума

При организации защиты персонала от АШ надо учитывать его особенности. Во-первых, АШ широкополосный и представлен во всем частотном звуковом диапазоне с максимумом уровня звукового давления в области средних и высоких частот. Во-вторых, проблема защиты усугубляется наличием в его спектре низкочастотных составляющих и ИЗ, обладающих высокой проникающей способностью и оказывающих влияние на организм человека как через слуховой анализатор, так и за счет непосредственного (прямого) воздействия на все органы и ткани [2, 6, 39].

Для защиты органа слуха от АШ, в спектре которого преобладают средние и высокие частоты звукового диапазона, а уровень ИЗ не превышает 100 дБ, необходимо ориентироваться на уровень шума. При уровне АШ до 100 дБА следует использовать противошумы: втулки, вкладыши, тампоны или наушники, – акустическая эффективность которых, как правило, не превышает 20 дБ в области средних и высоких звуковых частот. Они обеспечивают ослабление шума, передающегося в орган слуха воздушным путем. При этом для защиты органа слуха от воздействия шума в эргономическом отношении предпочтение следует отдавать противошумным наушникам (ПШН) [40].

При уровнях АШ свыше 100 дБА для защиты органа слуха необходимо применять ПШН в комбинации с другими типами противошумов. Они предназначены для защиты органа слуха от средне- и высокочастотных звуков, так как именно в диапазоне частот от 1 до 8 кГц такая комбинация обеспечивает ослабление звука на 20–30 дБ. На частотах ниже 500 Гц многие противошумы малоэффективны (ослабление звука не превышает 10–15 дБ).

При уровнях АШ свыше 110 дБА необходима защита не только воздушного пути передачи звука в орган слуха, но и костного. Целесообразно использовать противошумный шлем (ПШШ), позволяющий обеспечить защиту органа слуха и костей головы, чем достигается защита обоих путей передачи звука в улитку органа слуха.

При уровнях АШ свыше 125 дБА необходима защита не только органа слуха и головы, но и грудной клетки и брюшной полости, чтобы предупредить феномен «воздушной вибрации». Этого можно достичь с помощью использования противошумного жилета (ПШЖ) и пояса.

На рабочих местах при действии АШ, в спектре которого ИЗ превышает УЗД 100 дБ, необходимо использовать специальные средства защиты от АШ. Это новый класс технических средств индивидуальной защиты, предназначенный для защиты человека от экстракохлеарного действия ИЗ и низких частот звукового диапазона. К ним нужно относить ПШН, ПШШ и ПШЖ [2, 40].

Результаты исследований последних лет позволили сформулировать новые технические решения по разработке ПШН для защиты от АШ специалистов военно-воздушных сил. Испытания показали, что величина одиночного параметра поглощения звука (SNR) у них составила 30 дБ, значение поглощения высокочастотного шума – 28 дБ, среднечастотного шума – 33 дБ и низкочастотного шума – 28 дБ. Разработан экспериментальный образец ПШЖ, который снижает уровень шума в области средних и высоких частот от 5 до 25 дБ [2].

Использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) не всегда обеспечивает защиту от воздействия вредного фактора. Одной из причин является несоответствие указанной изготовителем эффективности СИЗ реальной величине. Поэтому необходимо использование комплексного подхода к исследованию эффективности создаваемых СИЗ, включающего технические и медицинские способы оценки защитных свойств, что позволит установить реальные величины акустической эффективности [41].

Существующие способы позволяют оценить эффективность СИЗ от шума только в диапазоне частот с октавными полосами от 63 до 8000 Гц. Для расширения диапазона исследования акустической эффективности противошумов в область более низких частот и ИЗ разработаны методики и технологии, которые требуют научной проработки и внедрения в практику [42, 43]. Их необходимо использовать для оценки эффективности коллективных и индивидуальных средств защиты от АШ.

Важная роль в обеспечении защиты АС принадлежит организационно-техническим мероприятиям по оптимизации условий профессиональной деятельности (применение коллективных средств защиты от шума, снижение продолжительности пребывания в зоне шума, чередование периодов работы и отдыха и др.). В «пассивный период» акустической нагрузки важно создать комфортные акустические условия и можно проводить реабилитационные мероприятия. Одним из решений является внедрение и использование разработанных типовых сооружений, предназначенных для эксплуатации на аэродромах и других авиационных объектах и обладающих достаточно надежной защитой от АШ [2, 6, 38].

Несмотря на определенные успехи, достигнутые в последние десятилетия в направлении создания средств защиты от АШ, необходимо отметить ряд проблем, которые надо решать:

- отсутствие табельных средств защиты (индивидуальных и коллективных) от АШ;
- создание эффективных технических средств защиты от ИЗ требует проведения научных исследований;
- отсутствие действенного контроля со стороны администрации и медицинской службы по использованию АС на рабочих местах средств защиты от шума;
- необходимость разработки рекомендаций по использованию СИЗ для каждого типа ВС.

Таким образом, использование средств защиты от шума является наиболее эффективным способом борьбы с АШ и предупреждает развитие заболеваний, обусловленных влиянием АШ. Их выбор должен производиться на основании гигиенической оценки акустической обстановки на рабочих местах АС.

Выводы

Анализ работ по исследованию АШ позволяет выделить его экологическую, гигиеническую, клиническую и социальную значимость и рассматривать в качестве физического фактора, неблагоприятное влияние которого на организм способствует развитию общей и профессионально обусловленной патологии, увеличению числа хронических заболеваний, снижению профессиональной надежности и долголетия.

Имеющиеся особенности АШ (высокая интенсивность, сочетание шума и ИЗ и др.) обуславливают специфичность его действия. Учитывая динамику развития воздушного транспорта, необходим мониторинг неблагоприятного действия АШ и разработка эффективных и своевременных мероприятий по профилактике на население, окружающую среду и АС. Ведущим направлением в системе профилактики вредного действия АШ и поддержания работоспособности АС является применение эффективных средств защиты от шума.

Список литературы

1. О санитарно-эпидемиологической обстановке благополучия населения в Российской Федерации в 2011 году: Государственный доклад. М., 2012.
On the sanitary-epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2011: State report. Moscow, 2012.
2. Солдатов С.К., Богомолов А.В., Зинкин В.Н., Кукушкин Ю.А. Человек и авиационный шум // Безопасность жизнедеятельности. 2012. № 9 (прил.).
Soldatov S.K., Bogomolov A.V., Zinkin V.N., Kukushkin Yu.A. Man and aircraft noise // Bezopasnost zhiznedeyatelnosti. 2012. № 9 (prilozhenie).
3. Воробьев О.А., Крылов Ю.В., Зарицкий В.В. и др. Авиационный шум как экологически опасный фактор // Мед. труда и пром. экология. 1995. № 3. С. 11–14.
Vorobiev O.A., Krylov Ju.V., Zaritskiy V.V. et al. Aircraft noise as hazardous factor // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 1995. № 3. P. 11–14.
4. Белова С.Е. Акустическая безопасность перспективных пассажирских самолетов // Вестн. Рыбин. гос. авиа. технол. акад. им. П.А. Соловьева. 2012. № 1. С. 8–14.
Belova S.E. Acoustic safety of prospective passenger planes // Vestnik Rybinskoy gosudarstvennoy aviatsionnoy tekhnologicheskoy akademii im. P.A. Solov'eva. 2012. № 1. P. 8–14.
5. Инженерная акустика: Теория и практика борьбы с шумом / Н.И. Иванов, ред. М., 2010.
Engineering acoustics. Theory and practice of noise control / N.I. Ivanov, ed. Moscow, 2010.
6. Авиационная медицина: Руководство / Н.М. Рудный, П.В. Васильев, В.С. Гозулов, ред. М., 1986.
Aviation medicine: guidelines / N.M. Rudny, P.V. Vasil'ev, V.S. Gozulov, eds. M., 1986.
7. 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.
8. Щербakov С.А., Кирий С.В., Кукушкин Ю.А. и др. Результаты исследований акустической обстановки на рабочих местах инженерно-технического состава авиации // Проблемы безопасности полетов. 2007. № 3. С. 27.
Shcherbakov S.A., Kiriy S.V., Kukushkin Yu.A. et al. The results of studies of acoustic situation in the workplace of aviation technical staff // Problemy bezopasnosti poletov. 2007. № 3. P. 27.
9. Зинкин В.Н., Ахметзянов И.М., Драган С.П. и др. Особенности сочетанного действия шума и инфразвука на организм // Безопасность жизнедеятельности. 2011. № 9. С. 2–10.
Zinkin V.N., Akhmetzaynov I.M., Dragan S.P. et al. Features of the combined effect of noise and infrasound on the body // Bezopasnost zhiznedeyatelnosti. 2011. № 9. P. 2–10.
10. Справочник авиационного врача / С.А. Бугров, П.В. Васильев, В.А. Пономаренко, В.Ф. Токарев, ред. М., 1996.

Directory for aviation doctor / S.A. Bugrov, P.V. Vasil'ev, V.A. Ponomarenko, V.F. Tokarev, eds. Moscow, 1996.

11. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. Экологические аспекты безопасности жизнедеятельности населения, подвергающегося действию авиационного шума // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 3. С. 97–101.

Zinkin V.N., Bogomolov A.V., Akhmetzaynov I.M., Sheshegov P.M. Environmental aspects of safety of human exposed to aircraft noise // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2011. № 3. P. 97–101.

12. Карагодина И.А. Борьба с шумом и вибрацией в городах. М., 1979.

Karagodina I.A. The fight against noise and vibration in the cities. Moscow, 1979.

13. Солдатов С.К., Кукушкин Ю.А., Драган С.П. и др. Анализ антропоэкологической опасности шума, образующегося при заходе самолета на посадку // Экология промышленного производства. 2013. № 4 (84). С. 76–78.

Soldatov S.K., Kukushkin Yu.A., Dragan S.P. et al. Analysis of anthropoecological danger of noise generated by landing aircraft // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva. 2013. № 4 (84). P. 76–78.

14. Козин О.В. Метод расчета экспозиции авиационного шума при оценке его воздействия на орган слуха у лиц летного состава // Гигиена и санитария. 2006. № 2. С. 83–85.

Kozin O.V. Method for calculating of aircraft noise exposure when assessing its impact on the organ of hearing in the flight personnel // Gigiena i sanitariya. 2006. № 2. P. 83–85.

15. Шум на рабочих местах, в помещениях общественных зданий и на территории жилой застройки: Санитарные нормы. СН 2.2.4/2.18.562–96. М., 1997.

Noise in the workplace, in the premises of public buildings and residential areas: Sanitary standards. SN 2.2.4/2.18.562–96. Moscow, 1997.

16. Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения. ГОСТ 22283-88. Введ.1988–12–22. М., 1988.

Aircraft noise. Permissible noise levels in residential areas and methods of measurement. GOST 22283-88. Vved.1988–12–22. Moscow, 1988.

17. Почекаева Е.И. Аэропорты как источники загрязнения среды обитания // Здравоохранение Российской Федерации. 2008. № 2. С. 54–56.

Pochekaeva E.I. Airports as sources of environmental pollution // Zdravookhranenie Rossiyskoy Federatsii. 2008. № 2. P. 54–56.

18. Ученые: шум самолетов может вызвать болезни сердца и сосудов. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aif.ru/society/healthcare/944307> (дата обращения 01.04.2014).

Scientists: aircraft noise can cause heart and blood vessels diseases [electronic resource]. URL: <http://www.aif.ru/society/healthcare/944307> (data obrashheniya 01.04.2014).

19. Суворов Г.А., Прокопенко Л.В. Акустические колебания: шум, инфразвук, ультразвук: эколого-гигиеническая оценка и контроль. М., 2000.

Suvorov G.A., Prokopenko L.V. Acoustic vibrations: noise, infrasound, ultrasound: ecological and hygienic evaluation and control. Moscow, 2000.

20. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Куралесин Н.А. и др. Инфразвук как фактор риска здоровью человека (гигиенические, медико-биологические и патогенетические механизмы). Воронеж, 1998.

Izmerov N.F., Suvorov G.A., Kuralesin N.A. et al. Infrasound as a risk to human health (hygiene, biomedical and pathogenetic mechanisms). Voronezh, 1998.

21. Ахметзянов И.М., Гребеньков С.В., Ломов О.П. Шум и инфразвук. Гигиенические аспекты. СПб., 2002.

Akhmetzaynov I.M., Greben'kov S.V., Lomov O.P. Noise and infrasound. Hygienic aspects. St. Petersburg, 2002.

22. Воробьева Л.С., Комкин А.И. Расчет и проектирование диссипативных глушителей шума методом конечных элементов // Известия высших учебных заведений. 2013. № 11. С. 58–63.

Vorobieva L.S., Komkin A.I. Calculation and design of dissipative silencers by finite element method // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. 2013. № 11. P. 58–63.

23. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. (Р 2.2.2006-05). М., 2005.

Guidelines for the hygienic assessment of working environment factors and labor process. Classification and criteria of working conditions. (R 2.2.2006-05). Moscow, 2005.

24. Щербakov С.А., Кукушкин Ю.А., Шишов А.А. и др. Методическое обеспечение и результаты исследования акустической обстановки на рабочих местах специалистов, подвергающихся воздействию авиационного шума // Биомедицинская радиоэлектроника. 2007. № 12. С. 21–27.

Shcherbakov S.A., Kukushkin Ju.A., Shishov A.A. et al. Methodical maintenance and results of study of acoustic environment in the workplace of personnel affected by aircraft noise // Biomeditsinskaya radioelektronika. 2007. № 12. P. 21–27.

25. Симухин В.В., Кукушкин Ю.А., Ворона А.А. и др. Методические аспекты нормирования импульсных промышленных шумов // Безопасность труда в промышленности. 2013. № 10. С. 32–35.

Simukhin V.V., Kukushkin Ju.A., Vorona A.A. et al. Methodological aspects of the valuation of industrial impulse noise // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2013. № 10. P. 32–35.

26. Об утверждении порядка аттестации рабочих мест по условиям труда: Приказ Минздравсоцразвития РФ от 26.04.2011 г. № 342н. М., 2011.

On approval of the certification of workplaces on working conditions: Prikaz Minzdravsotsrazvitiya RF ot 26.04.2011 g. № 342n. Moscow, 2011.

27. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон РФ от 23.12.2013 г. № 426-ФЗ. М., 2013.

About the special assessment of working conditions: Federal'ny zakon RF ot 23.12.2013 g. № 426-FZ. Moscow, 2013.

28. Профессиональная патология: Национальное руководство / Н.Ф. Измеров, ред. М., 2011.
Professional pathology: National Guidelines / N.F. Izmerov, ed. Moscow, 2011.
29. Зинкин В.Н., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. и др. Авиационный шум как фактор эколого-социального неблагополучия // Проблемы безопасности полетов. 2010. № 10. С. 3–13.
Zinkin V.N., Akhmetzaynov I.M., Sheshegov P.M. et al. Aircraft noise as a factor of ecological and social disadvantage // Problemy bezopasnosti poletov. 2010. № 10. P. 3–13.
30. Оториноларингология: Национальное руководство / В.Т. Палчун, ред. М., 2008. Otorhinolaryngology: National Guidelines / V.T. Palchun, ed. Moscow, 2008.
31. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Драган С.П., Ахметзянов И.М. Кумулятивные медико-биологические эффекты сочетанного действия шума и инфразвука // Экология и промышленность России. 2012. № 3. С. 6–49.
Zinkin V.N., Bogomolov A.V., Dragan S.P., Akhmetzaynov I.M. Cumulative biomedical effects of the combined action of noise and infrasound // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2012. № 3. P. 6–49.
32. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Драган С.П., Ахметзянов И.М. Анализ рисков здоровью, обусловленных сочетанным действием шума и инфразвука // Проблемы анализа риска. 2011. Т. 8. № 4. С. 82–92.
Zinkin V.N., Bogomolov A.V., Dragan S.P., Akhmetzaynov I.M. Analysis of the health risks caused by combined action of noise and infrasound // Problemy analiza riska. 2011. T. 8. № 4. P. 82–92.
33. Драган С.П., Солдатов С.К., Богомолов А.В. и др. Оценка акустической эффективности средств индивидуальной защиты от экстрасурального воздействия авиационного шума // Авиакосм. и экол. мед. 2013. Т. 47. № 5. С. 21–26.
Dragan S.P., Soldatov S.K., Bogomolov A.V. et al. Evaluation of acoustic efficiency of personal protective equipment against aircraft noise // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2013. T. 47. № 5. P. 21–26.
34. Зинкин В.Н., Кукушкин Ю.А., Ахметзянов И.М. и др. Риски здоровью, обусловленные кумулятивным действием авиационного шума, и мероприятия по борьбе с ним // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2011. № 1. С. 80–88.
Zinkin V.N., Kukushkin Ju.A., Akhmetzaynov I.M. et al. Health risks caused by the cumulative effect of aircraft noise and measures to prevent it // Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy. 2011. № 1. P. 80–88.
35. Об утверждении перечня профессиональных заболеваний: Приказ Минздравсоцразвития РФ от 27.04.2012 г. № 417н.
On approval of the list of occupational diseases: Prikaz Minzdravsotsrazvitiya RF ot 27.04.2012 g. № 417n.
36. Благинин А.А., Калтыгин М.В., Синельников С.Н., Дергачёв В.Б. Влияние индивидуальных психологических особенностей операторов на изменение функционального состояния при действии авиационного шума // Вестн. Рос. воен.-мед. академии. 2011. № 4. С. 97–100.
Blaginin A.A., Kaltygin M.V., Sinel'nikov S.N., Dergachev V.B. Influence of individual psychological characteristics of operators on changing of the functional state due the action of aircraft noise // Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii. 2011. № 4. P. 97–100.
37. Ушаков И.Б., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В. Физиология труда и надежность деятельности человека. М., 2008.
Ushakov I.B., Kukushkin Ju.A., Bogomolov A.V. Physiology of labor and human reliability. Moscow, 2008.
38. Кирий С.В., Кукушкин Ю.А., Шишов А.А. и др. Методика оценивания умственной работоспособности и надежности профессиональной деятельности специалистов, подвергающихся воздействию авиационного шума // Биомед. радиоэлектроника. 2008. № 1–2. С. 50–56.
Kiriy S.V., Kukushkin Ju.A., Shishov A.A. et al. Estimation technique of mental performance and reliability of the professional activities affected by aircraft noise // Biomeditsinskaya radioelektronika. 2008. № 1–2. P. 50–56.
39. Колосов Ю.В., Барановский В.В. Защита от вибрации и шума на производстве: Учеб. пос. СПб., 2011.
Kolosov Ju.V., Baranovskiy V.V. Protection against noise and vibration in the workplace. Textbook. St. Petersburg, 2011.
40. Солдатов С.К., Чистов С.Д., Россельс А.В. и др. Методология исследования эффективности средств индивидуальной защиты от шума в расширенном частотном диапазоне // Безопасность жизнедеятельности. 2013. № 7. С. 2–8.
Soldatov S.K., Chistov S.D., Rossel's A.V. et al. Methodology of research of the personal protective equipment effectiveness from the noise in the extended frequency range // Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. 2013. № 7. P. 2–8.
41. Денисов Э.И., Морозова Т.В., Аденинская Е.Е., Курьеров Н.Н. Проблема реальной эффективности индивидуальной защиты и привносимый риск для здоровья работников (обзор литературы) // Мед. труда и пром. экология. 2013. № 4. С. 18–25.
Denisov E.I., Morozova T.V., Adeninskaya E.E., Kur'еров N.N. The problem of efficiency of individual protection and health risks for workers (literature review) // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2013. № 4. P. 18–25.
42. Драган С.П., Солдатов С.К., Дроздов С.В. и др. Акустическая эффективность средств защиты от шума // Мед. техника. 2013. № 3. С. 34–36.
Dragan S.P., Soldatov S.K., Drozdov S.V. et al. Effectiveness of acoustic noise protection // Meditsinskaya tekhnika. 2013. № 3. P. 34–36.
43. Тихомиров Л.А., Щурова Н.Е. Зарубежный опыт мониторинга авиационного шума // Академия. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 112–116.
Tikhomirov L.A., Shchurova N.E. Foreign experience of aircraft noise monitoring // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2010. № 3. P. 112–116.

Поступила 14.04.2014

**FUNDAMENTAL AND APPLIED ASPECTS
OF PREVENTING THE ADVERSE EFFECTS
OF AVIATION NOISE**

**Zhdanko I.M., Zinkin V.N., Soldatov S.K.,
Bogomolov A.V., Sheshegov P.M.**

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia).
2014. V. 48. № 4. P. 5–16

In the article, aviation noise is discussed as a harmful physical factor with ecological, hygienic, clinical and social implications. Noise contributes to development of general and occupational pathologies, chronic diseases, and reduction of professional longevity.

The present-day knowledge of aviation noise sources and dynamics, and effects on environment, population, and aviation personnel is overviewed, as well as strategies to prevent noise consequences, muffling techniques being the key ones.

Key words: medical acoustics, aviation noise, protection against noise, hearing physiology, engineering acoustics.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 613.69+612.3:612.3.35. 612.45.+612.43+615.241.+612.13

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕЧЕНИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ НЕВЕСОМОСТИ В АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛОЖЕНИИ

Афонин Б.В., Седова Е.А., Тихонова Г.А., Соловьева А.А., Валуев В.А.

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

При моделировании венозного полнокровия в печени в антиортостатическом положении -15° (АНОП) у 8 мужчин-добровольцев ультразвуковым методом (УЗИ) выявлено развитие полнокровия в венозной системе брюшной полости и замедление кровотока в печени, которое не отразилось на биохимических показателях крови. Функциональные изменения печени, связанные с гемодинамической перестройкой в АНОП, были выявлены при использовании ^{13}C -метацетинового дыхательного теста (^{13}C -МДТ) со 100 мг ^{13}C -метоксиметацетина, который показал, что в АНОП происходит уменьшение метаболической емкости и замедление скорости детоксикационной активности печени. ^{13}C -МДТ может использоваться как неинвазивный метод для выявления функциональных изменений печени, обусловленных гемодинамической перестройкой, возникающей в невесомости и сходных по гемодинамическому механизму состояниях.

Ключевые слова: антиортостатическое положение, вены печени, венозное полнокровие, ^{13}C -дыхательный тест, ^{13}C -метоксиметацетин, метаболическая емкость, детоксикационная активность печени.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 4. С. 17–22.

Состояние пищеварительной системы в космическом полете (КП) характеризуется увеличением экскреторной активности желудка, поджелудочной железы и желчеотделения в печени [1–4]. Аналогичное повышение экскреторной активности в органах пищеварительной системы и, в частности, активация желчеотделения в печени возникает при антиортостатической гипокинезии (АНОГ) и иммерсии [5–9]. Выявленная в условиях АНОГ и иммерсии активация желчеотделения в печени по своему механизму близка к тому, что наблюдали в КП [2–4, 10]. Исследования в антиортостатическом положении -15° (АНОП) показали, что механизм повышения экскреторной активности в органах пищеварительной системы и активация желчеотделения в печени обусловлены возникновением полнокровия в венозной системе печени и брюшной полости [6, 10, 11]. Радиоизотопные методы

и эндоскопические исследования в АНОГ подтвердили роль венозного застоя в печени в активации желчеотделения и показали особенности, связанные со снижением экскреторной активности гепатоцитов и концентрационной функции системы желчеотделения [12]. Снижение функциональной активности печени в условиях венозного полнокровия не всегда сопровождается изменениями биохимических показателей крови [13, 14], поскольку ее резервные возможности могут маскировать угнетение функциональной активности [15].

В связи с появлением новых медицинских технологий, в частности ^{13}C -дыхательных методик, стало возможным проведение не только качественных исследований, но и количественное определение изменений функциональной активности печени, вызванных воздействием на нее различных факторов [16–20]. В настоящее время ^{13}C -метацетиновый дыхательный тест (^{13}C -МДТ) широко применяется в зарубежных клиниках для изучения функциональных изменений печени, связанных с изменениями ее венозной гемодинамики [17, 18]. Тест позволяет количественно оценить детоксикационную активность и метаболическую емкость печени [18–20], изменение которой при замедлении венозного кровотока в АНОП трудно выявить другими методами.

Целью проведенных исследований являлось определение с использованием ^{13}C -МДТ функциональных изменений печени, ее детоксикационной активности и метаболической емкости при моделировании гемодинамических эффектов невесомости в АНОП.

Методика

Исследование проведено с участием 8 здоровых мужчин-добровольцев в возрасте от 23 до 37 лет, допущенных к участию в эксперименте врачебно-экспертной комиссией и подписавших Информированное согласие на участие в исследовании в соответствии с положением Хельсинкской декларации прав человека. Процедуры

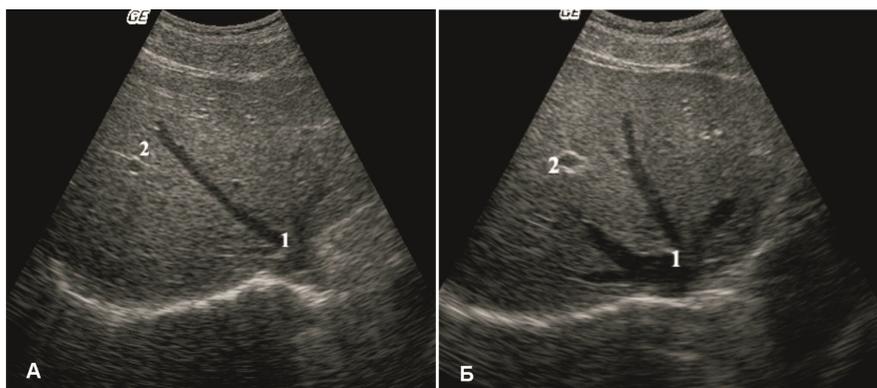


Рис. 1. Ультразвуковое исследование печени.

А – ультразвуковая картина вен печени в горизонтальном положении (1 – продольный срез печеночных вен; 2 – поперечный срез правой ветви воротной вены).

Б – ультразвуковая картина полнокрывия вен печени после 12-часового пребывания в антиортостатическом положении -15° (1 – расширенные печеночные вены; 2 – увеличенный диаметр правой ветви воротной вены)

исследований предварительно были рассмотрены и одобрены Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Гемодинамические эффекты невесомости моделировали в АНОП -15° длительностью 12 ч с 21.00 до 9.00 следующих суток. Взятие венозной крови для биохимического исследования проводили в утренние часы натощак перед (фон) и после 12 ч пребывания в АНОП. Функциональное состояние печени оценивали по активности аланинаминотрансферазы (АлАТ), аспаратаминотрансферазы (АсАТ), гамма-глутамилтранспептидазы (γ -ГТП) и концентрации общего билирубина [15]. Активность печеночных ферментов и концентрацию билирубина определяли с использованием тест-полосок на биохимическом анализаторе Рефлотрон (Швейцария). УЗИ брюшной полости, печени и ее сосудов проводили утром натощак в горизонтальном положении (фон) и после 12 ч пребывания в АНОП ультразвуковой системой «Сономед-К» («Спектрмед», Россия) с использованием стандартных методических подходов и методов биометрии [21]. Функциональное состояние печени, ее метаболическую емкость и детоксикационную активность оценивали по результатам ^{13}C -МДТ, проведенного до и во время АНОП в модификации со 100 мг ^{13}C -метацетина, при которой отмечается наименьший разброс индивидуальных показателей ^{13}C -метацетинового теста. Для исследований использовали ^{13}C -метоксиметацетин фирмы «Ростхим» (РФ) с 99 %-ным замещением в метильном радикале ^{12}C -атома на ^{13}C -изотоп. Раствор ^{13}C -метацетина для дыхательного теста приготавливали непосредственно перед началом исследования [16, 17, 19]. ^{13}C -метоксиметацетин в дозировке 100 мг растворяли в 200 мл теплого фруктового

чая с 10 г сахара для исключения неприятных вкусовых ощущений, которые могли повлиять на эвакуацию раствора из желудка. Образцы выдыхаемого воздуха отбирали в специальные металлизированные пакеты (200 мл) WAGNER GmbH (Германия) до и на протяжении 2 ч после приема тестирующей смеси (через 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120 мин). Анализ изотопного состава углекислого газа выдыхаемого воздуха проводили на инфракрасном анализаторе IRIS-doc ANALYSEN TECHNIK GmbH (Германия) в 2 параллелях. Разница значений ^{13}C между фоном и точками отбора выдыхаемого воздуха после приема тестирующей смеси использовалась для рас-

чета динамики скорости метаболизма ^{13}C -препарата в печени (доза/ч) в процентах и метаболизированной за 2 ч в организме, кумулятивной дозы ^{13}C -препарата в процентах [16].

Математическая обработка полученных данных выполнена при помощи программного обеспечения Microsoft Excel 2003. Анализ результатов показал нормальное распределение величин определяемых показателей, что позволило применить при их обработке общепринятые методы вариационной статистики с использованием *t*-критерия Стьюдента [22]. Различия считались статистически значимыми при достоверности не менее 95 % ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение

Ультразвуковые исследования (УЗИ) показали, что перед нахождением в АНОП диаметр магистральных сосудов, желчных протоков, толщина стенок желудка, желчного пузыря и его объем были в пределах общепринятой нормы для этих показателей (табл.) [21]. Типичная УЗ-картина правой доли печени с продольным срезом печеночных вен и поперечным срезом правого протока воротной вены представлена на рис. 1, А. В условиях обычного двигательного режима активность ферментов печени и концентрация билирубина соответствовали границам нормы (см. табл.). Перед АНОП при проведении ^{13}C -МДТ максимальная скорость метаболизма ^{13}C -метацетина отмечалась на 10-й минуте и составила $48,74 \pm 3,3$ % (доза/ч) (рис. 2, А), а пик максимальной скорости инактивации ^{13}C -метацетина определялся на 10 мин. Кумулятивная доза инактивированного препарата составила на 40-й минуте $19 \pm 3,6$ %, на 120-й – $43,78 \pm 3,6$ % (рис. 2, Б).

Активность ферментов, концентрация общего билирубина крови и результаты УЗИ желудка, печени и сосудов до и после пребывания в АНОП ($M \pm m$), $n = 8$

Показатели	Биохимические исследования		
	Границы нормы	Перед АНОП	АНОП
Билирубин общий, ммоль/л	≤ 20	$17,7 \pm 2,37$	$19,5 \pm 2,65$
γ -ГТП, Е/л	640	$14,17 \pm 3,24$	$9,3 \pm 1,35$
АлАТ, Е/л	≤ 22	$4,37 \pm 0,77$	$3,48 \pm 0,38$
АсАТ, Е/л	≤ 18	$5,77 \pm 1,02$	$6,26 \pm 0,84$
Ультразвуковые исследования			
Толщина стенки желчного пузыря, мм	≤ 2	$1,31 \pm 0,04$	$3,04 \pm 0,2^*$
Толщина стенки желудка, мм	≤ 3	$3,05 \pm 0,05$	$5,71 \pm 0,8^*$
Объем желчного пузыря, см ³	16-28	$21,43 \pm 1,3$	$13,51 \pm 1,44^*$
Диаметр общего желчного протока, мм	≤ 3	$1,99 \pm 0,6$	$5,7 \pm 0,18^*$
Диаметр правого протока воротной вены, мм	7,5-11	$8,66 \pm 0,14$	$10,86 \pm 0,17^*$
Диаметр средней печеночной вены, мм	5-9	$7,71 \pm 0,07$	$9,4 \pm 0,14^*$
Диаметр правой печеночной вены, мм	6-10	$8,03 \pm 0,07$	$10,19 \pm 0,23^*$

Примечание. * – достоверные изменения относительно значений, полученных перед АНОП (фон) ($p \leq 0,05$).

В ходе эксперимента в первые 3 ч пребывания в АНОП с 21.00 до 24.00 у испытуемых отмечали стандартные для этих условий физиологические реакции в виде прилива крови к голове, ощущения тяжести в глазных яблоках, заложенности носа, сонливости и увеличенного мочеотделения, которые через 3 ч пребывания в АНОП значительно уменьшились. Сон продолжался с 24.00 до 09.00 следующих суток и по

ощущениям не отличался от сна в обычных условиях. Самочувствие утром было хорошим, прилив крови к голове практически не ощущался. После 12-часового пребывания в АНОП УЗИ выявили расширение печеночных и воротных вен, указывающее на замедление венозного кровотока в печени (см. табл.). Характерная УЗ-картина правой доли печени с расширенными печеночными венами и увеличенным диаметром пра-

вого протока воротной вены представлена на рис. 1, Б. Аналогичное расширение вен, характеризующее венозное полнокровие печени, отмечали и в других экспериментальных исследованиях, моделирующих гемодинамические эффекты невесомости [2, 3, 6, 8, 10]. Расширение печеночных вен указывало на замедление оттока крови из печени в нижнюю полую вену [2, 10–12], а увеличение диаметра вен воротной системы – на замедление портального кровотока [21]. С замедлением портального кровотока в АНОП также было связано выраженное равномерное увеличение толщины стенок желудка и желчного пузыря, обусловленное расширением в них емкостных вен (см. табл.).

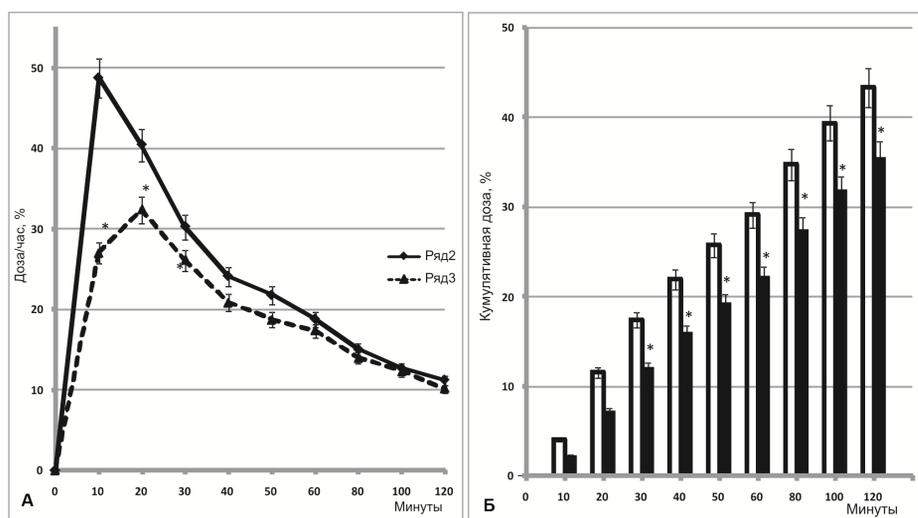


Рис. 2. Функциональные изменения печени. А – динамика скорости метаболизма ¹³С-метацетина доза/ч (%) в печени при проведении дыхательного теста. Сплошная линия – горизонтальное положение, пунктир – после 12 ч пребывания в АНОП. Б – кумулятивная доза (%) ¹³С-метацетина (метаболическая емкость печени) при проведении дыхательного теста в горизонтальном положении – белые столбцы, после 12 ч пребывания в АНОП – черные столбцы

Это утолщение стенок полых органов в АНОП являлось УЗ-признаком застоя в венозной системе брюшной полости, ранее отмеченным в КП, АНОГ и иммерсии [2, 3, 7–9]. В АНОП, в условиях венозного застоя, в печени отмечалось расширение желчных протоков и уменьшение (сокращение) натошак объема желчного пузыря. Расширение желчных протоков в печени при сокращенном желчном пузыре является признаком увеличенного желчеотделения [21]. Аналогичное расширение желчных протоков, свидетельствующее об активации желчеотделения, также отмечено в КП и при моделировании гемодинамических эффектов невесомости в АНОГ и иммерсии [3, 7–9, 12].

Исследования венозной крови, проведенные после 12 ч пребывания в АНОП, позволили отметить лишь тенденцию к увеличению общего билирубина (см. табл.) до верхней границы нормы, повышение которого в КП, АНОГ и иммерсии расценивалось как признак снижения детоксикационной активности печени, связанного с застоем в ее венозной системе [4, 8, 11, 12]. В этих исследованиях было показано, что повышение билирубина происходило преимущественно за счет его непрямой фракции, т.е. было связано со снижением его инактивации в печени. В данных исследованиях определяли только общий билирубин, изменения которого не позволили говорить о снижении процессов инактивации в печени. Существенных изменений основных печеночных ферментов, которые бы отражали смоделированные в АНОП гемодинамические изменения в печени, также не выявлено, т.е. гемодинамические изменения в печени существенно не влияли на биохимические показатели ее функциональной активности, что соответствовало результатам, полученным в аналогичных исследованиях [12–14].

Исследование функционального состояния печени в АНОП с использованием ^{13}C -МДТ показало, что пик максимальной скорости инактивации препарата понизился и сместился на 20-ю минуту и составил $32,3 \pm 2$ % (доза/ч) (см. рис. 2, А), т.е. появление признаков перестройки гемодинамики печени в АНОП сопровождалось уменьшением и смещением пика этого показателя. Развитие венозного полнокровия в печени в АНОП сопровождалось не только смещением пика скорости максимальной активности, но и снижением скорости метаболизма ^{13}C -метацетина, характеризовавшим замедление ее детоксикационной функции [16–20]. Во всех точках кривой ^{13}C -МДТ произошло уменьшение абсолютных значений скорости метаболизма ^{13}C -метацетина, которое было наиболее выражено на 10, 20 и на 30-й минутах (соответственно до 55,4; 62,6 и 82 % от значений, полученных перед АНОП). На фоне замедления венозного кровотока отмечали снижение кумулятивной дозы инактивированного препарата на 40-й минуте теста

до 73 %, а на 120-й минуте – до 82 % от исходных значений (см. рис. 2, Б). Снижение кумулятивной дозы инактивированного ^{13}C -метацетина в АНОП отражало вызванное гемодинамической перестройкой, уменьшение метаболической емкости печени, соответствующее начальным значениям оценочной шкалы изменений состояния печени по Чайлд-Пью [16–19]. Аналогичные АНОП изменения ^{13}C -МДТ отмечены при сердечно-сосудистой патологии с появлением начальных признаков застоя по большому кругу кровообращения [10, 18–20]. Выявленное уменьшение метаболической емкости печени в АНОП подтверждает результаты, полученные в аналогичных экспериментальных условиях, при проведении радиоизотопных исследований [12]. В отличие от радиоизотопных исследований, проведение ^{13}C -МДТ не требует специальных стационарных условий дорогого громоздкого оборудования и может проводиться практически в любых условиях.

Выводы

1. Показатели активности основных печеночных ферментов и концентрации общего билирубина не отражают функциональных изменений печени, связанных с полнокровием в венозной системе брюшной полости и замедлением в ней венозного кровотока, возникающих в АНОП.

2. Функциональные изменения печени, вызванные замедлением венозного кровотока в АНОП, выявляются при проведении ^{13}C -МДТ и характеризуются уменьшением ее метаболической емкости и снижением детоксикационной активности со смещением пика максимальной скорости инактивации ^{13}C -метоксиметацетина на 20-ю минуту теста.

3. Показатели ^{13}C -МДТ со 100 мг ^{13}C -метоксиметацетина могут использоваться для оценки функциональных изменений состояния печени, вызванных замедлением ее венозного кровотока в экспериментах, моделирующих невесомость, и при состояниях организма со схожими изменениями венозной гемодинамики.

Работа выполнена по плану фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН (тема № 62.2).

Список литературы

1. Smirnov K.V., Ugolev A.M. Digestion and Absorbtion. Space Biology and Medicine. V. 3. Humans spaseflight. Moscow, 1997. Book 1. P. 211.

2. Афонин Б.В. Состояние пищеварительной системы в длительных космических полетах и гипокинезии //

Рос. журн. гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 1999. Т. 9. Прилож. 7. С. 5.

Afonin B.V. The state of digestive system during long-term spaceflights and hypokinesia // Rossiyskiy zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii. 1999. V. 9. Appendix 7. P. 5.

3. Афонин Б.В., Носков В.Б., Поляков В.В. Состояние пищеварительной системы в условиях длительного космического полета // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 5. С. 53.

Afonin B.V., Noskov V.B., Polyakov V.V. The state of the digestive organs during long-term spaceflight // Fiziologiya cheloveka. 2003. V. 29. № 5. P. 53.

4. Афонин Б.В. Система пищеварения // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. М., 2001. Т. 1. С. 620.

Afonin B.V. Digestive System // Space station «Mir». Space biology and medicine. Moscow, 2001. V. 1. P. 620.

5. Смирнов К.В. Пищеварение и гипокinezия. М., 1990.

Smirnov K.V. Digestion and Hypokinesia. Moscow, 1990.

6. Афонин Б.В., Гончарова Н.П. Секреторная активность желудка при моделировании увеличенного кровенаполнения венозной системы брюшной полости в антиортостатическом положении // Авиакосм. и экол. мед. 2009. Т. 43. № 4. С. 39.

Afonin B.V., Goncharova N.P. Seretory activity of the stomach during modeling of enhanced filling of abdominal veins // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2009. V. 43. № 4. P. 39.

7. Афонин Б.В., Гончарова Н.П., Седова Е.А., Соловьева А.А. Эвакуаторная функция желудочно-кишечного тракта в 5-суточной водной иммерсии // Там же. 2011. Т. 45. № 6. С. 52.

Afonin B.V., Goncharova N.P., Sedova E.A., Solovyeva A.A. Investigation of the evacuatory function of the gastrointestinal tract in 5-day dry immersion // Ibid. 2011. V. 45. № 6. P. 52.

8. Афонин Б.В., Седова Е.А. Состояние пищеварительной системы человека при моделировании эффектов невесомости в условиях иммерсии // Там же. 2009. Т. 43. № 1. С. 48.

Afonin B.V., Sedova E.A. Digestive system functioning during simulation of microgravity effects on humans by means of immersion // Ibid. 2009. V. 43. № 1. P. 48.

9. Афонин Б.В., Гончарова Н.П., Карамышев Ю.А. Функциональное состояние желудка в длительной антиортостатической гипокinezии // Там же. 2007. Т. 41. № 6. С. 34.

Afonin B.V., Goncharova N.P., Karamyshev Yu.A. Functional state of stomach under long-term antiorthostatic hypokinesia // Ibid. 2007. V. 41. № 6. P. 34.

10. Атьков О.Ю., Бедненко В.С. Гипокinezия, невесомость: клинические и физиологические аспекты. М., 1989.

Atkov O.Yu., Bednenko V.S. Hypokinesia, microgravity: clinical and physiological aspects. Moscow, 1989.

11. Афонин Б.В., Носков В.Б., Ничипорук И.А. и др. Состояние органов и сосудов брюшной полости при моделировании венозного полнокровия в спланхническом бассейне // Авиакосм. и экол. мед. 2007. Т. 41. № 5. С. 24.

Afonin B.V., Noskov V.B., Nichiporuk I.A. et al. State of the abdominal organs and vessels on the background of simulated venous plethora in the splanchnic vascular system // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2007. V. 41. № 5. P. 24.

12. Афонин Б.В., Ермоленко А.Е., Иноземцев С.Л. Функциональное состояние печени при моделировании гемодинамических эффектов невесомости в организме человека // Физиология человека. 2012. Т. 38. № 4. С. 1.

Afonin B.V., Ermolenko A.E., Inozemtsev S.L. Functional state of the liver at simulated hemodynamic effects of the weightlessness in human organism // Fiziologiya cheloveka. 2012. V. 38. № 4. P. 1.

13. Ничипорук И.А., Моруков Б.В. Исследование биохимических показателей в ходе длительных космических полетов на Международной космической станции // Международная космическая станция. Российский сегмент. Космическая биология и медицина. М. 2011. Т. 2. С. 228.

Nichiporuk I.A., Morukov B.V. Investigation of biochemical parameters during long-term spaceflights on the International space station // International space station. Russian segment. Space biology and medicine. M. 2011. V. 2. P. 228.

14. Маркин А.А. Биохимический статус человека после космического полета // Там же. С. 197.

Markin A.A. Biochemical status of a person after space flight // Ibid. P. 197.

15. Шерлок Ш., Дули Дж. Заболевания печени и желчных путей: Пер. с англ. М., 1999.

Sherlock Sh., Dooley G. Diseases of the liver and biliary system. Moscow, 1999.

16. Рапопорт С.И., Шубина Н.А., Семенов Н.В. ¹³С-дыхательный тест в практике гастроэнтеролога. М., 2007.

Rapoport S.I., Shubina N.A., Semenov N.V. ¹³C-methacetine breath test in gastroenterologist's practice. Moscow, 2007.

17. Petrolati A., Fasti D., De Berardinis G. et al. ¹³C-methacetine breath test for monitoring hepatic function in cirrotic patients before and after liver transplantation // Aliment. Pharmacol. Ter. 2003. № 18. P. 875.

18. Afolabi P., Wright M., Wootton S., Jackson A. Clinical utility of ¹³C-liver-function breath tests for assessment of hepatic function // Dig. Dis. Sci. 2013. № 58. P. 33.

19. Kochel-Jankowska A., Hartleb M., Jonderko K. et al. ¹³C-methacetine breath test correlates with clinical indices of liver disease severity in patients with primary biliary cirrhosis // J. of Physiol. and Pharmacol. 2013. № 64. P. 27.

20. Ciccocioppo R., Candelli M., Francesco D. et al. Study of liver function in healthy elderly subjects using the ¹³C-methacetine breath test // Aliment. Pharmacol. Ter. 2003. № 17. P. 271.

21. Дергачев А.И. Ультразвуковая диагностика заболеваний внутренних органов. М., 1995.

Dergachev A.I. Ultrasonic diagnostics of internal diseases. Moscow, 1995.

22. Гланц С. Медико-биологическая статистика: Пер. с англ. М., 1998.

Glantz S. Primer of biostatistics. Moscow, 1998.

Поступила 20.02.2014

EVALUATION OF THE LIVER FUNCTIONAL CHANGES DUE TO MODELING THE HEMODYNAMIC EFFECTS OF MICROGRAVITY IN BED REST STUDIES

Afonin B.V., Sedova E.A., Tikhonova G.A., Solovieva A.A., Valuev V.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 4. P. 17–22

Ultrasonic investigations of 8 male volunteers for bed rest at -15° showed plethora in peritoneal veins and slow blood flow through the liver with no effect on biochemical parameters. Breath test with 100 mg of ¹³C-methacetine (MBT) pointed to diminution of the metabolic capacity and decline of the hepatic detoxification activity due to the hemodynamic effects. MBT can be used as a noninvasive method for diagnosing functional changes in the liver induced by hemodynamic developments in microgravity and other situations triggering similar hemodynamic mechanisms.

Key words: bed rest, hepatic veins, venous plethora, ¹³C-methacetine breath test, ¹³C-methoxymethacetine, metabolic capacity, detoxification activity of the liver.

УДК 629.788:523.43.57+001.891:611.1

ВЛИЯНИЕ 520-СУТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Степанова Г.П., Буйлов С.П., Ещенко А.И., Скедина М.А., Воронков Ю.И.

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

Целями работы явились изучение влияния моделируемых факторов 520-суточной «пилотируемой экспедиции на Марс» на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы (ССС), а также оценка диагностической значимости методов ультразвукового исследования микроциркуляторного русла (УЗИ МЦР) и определения эндотелийзависимой вазодилатации (ЭЗВД) правой плечевой артерии (ППА) у 6 испытуемых-добровольцев (мужчин) в возрасте от 28 до 39 лет. Выявлено, что условия 520-суточной изоляции оказывают более выраженное влияние на ССС по сравнению со 105-суточной и приводят к изменению внутрисердечной гемодинамики, дисфункции эндотелия, повышают риск развития атеросклероза. Полученные результаты расширяют представления о «цене адаптации» у испытуемых-добровольцев к сверхдлительной изоляции.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, испытуемые, ультразвуковое исследование микроциркуляторного русла, эндотелийзависимая дилатация (правой) плечевой артерии, мониторинг ЭКГ и АД.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 4. С. 23–27.

Данная работа является продолжением исследований влияния факторов длительной изоляции на сердечно-сосудистую систему (ССС) человека. Ранее опубликованные результаты [1] были посвящены реакции ССС на 105-суточное пребывание испытуемых-добровольцев в условиях изоляции. В рамках проекта «Марс-500» предусматривалось 520-суточное пребывание участников эксперимента в условиях изоляции, в течение которого члены экипажа подвергались более выраженному воздействию комплекса неблагоприятных факторов. Такие особенности среды обитания могут существенно влиять на здоровье и работоспособность членов экипажа. В связи с этим своевременная диагностика и коррекция изменений функционального состояния, а также раннее выявление патологических процессов в организме человека являлись основными и наиболее актуальными задачами при проведении эксперимента «Марс-500» [2]. В настоящее время неинвазивные методы, такие, как метод ультразвукового исследования микроциркуляторного русла (УЗИ МЦР) [3] и метод определения эндотелийзависимой

вазодилатации (ЭЗВД) правой плечевой артерии (ППА), позволяют изучить особенности формирования артериальной ригидности и изменения гемодинамики у человека.

Целями работы являлись изучение влияния моделируемых факторов сверхдлительной (520-суточной) «пилотируемой марсианской экспедиции» на функциональное состояние ССС испытуемых-добровольцев, а также оценка диагностической значимости методов УЗИ МЦР и определения ЭЗВД ППА.

Методика

В эксперименте с 520-суточной изоляцией принимали участие 6 испытуемых-добровольцев в возрасте от 28 до 39 лет, прошедших врачебно-экспертную комиссию и подписавших Информированное согласие. Исследование ССС испытуемых-добровольцев проводили в фоновый период и на 1–3-и сутки периода восстановления (ПВ) с помощью ЭКГ в 12 стандартных отведениях, холтеровского мониторинга (ХМ) ЭКГ и измерения артериального давления (АД) на аппаратно-программном комплексе Getemed (Германия). Нагрузочные пробы выполняли на велоэргометре Schiller (Швейцария) в положении лежа до субмаксимальных значений ЧСС с регистрацией ЭКГ, АД, УЗИ МЦР прибором «Минимакс-Допплер-К» (Россия). Исследования проводили в соответствии со стандартной методикой [4]. Состояние центральной гемодинамики изучали с помощью эхокардиографии (эхоКГ) в соответствии с рекомендациями American Society of Echocardiography (ASE) и Penn Convention [5] на аппарате Aloca 1400 (Япония). Оценку состояния сосудистой стенки и сосудодвигательной функции эндотелия проводили путем определения толщины комплекса интима-медиа ППА на ультразвуковом сканере Aloca 1400 (Япония) по методике, представленной в работе [6], в модификации авторов работы [7]. Нормальной реакцией считалась дилатация ППА на фоне реактивной гиперемии не менее 10 % от исходного диаметра [8]. Статистический анализ полученных данных проводили с использованием вариационного и корреляционного анализа при помощи программного пакета STATISTICA. Статистически достоверными считались различия при $p < 0,05$.

Таблица 1

Биоэлектрическая активность миокарда и данные физикального осмотра испытуемых-добровольцев до и после 520-суточной изоляции

Симптомы	Частота определения, чел. (%)	
	До изоляции	После изоляции
Бледность кожных покровов	0	2 (33,3)
Пастозность голеней	0	3 (50)
Усиление звучности тонов	0	2 (33,3)
Приглушенность тонов сердца	1 (16,6)	4 (66,6)
Акцент II тона на аорте	1 (16,6)	2 (33,3)
Систолический шум	1 (16,6)	4 (66,6)
Синусовая аритмия дыхательного типа	6 (100)	6 (100)
Миграция водителя ритма	3 (50)	3 (50)
Одиночная наджелудочковая экстрасистолия	3 (50)	3 (50)
Наджелудочковая экстрасистолия по типу бигеминии	0	1 (16,6)
Пароксизм наджелудочковой тахикардии	0	2 (33,3)
Синдром ранней реполяризации желудочков	1 (16,6)	2 (33,3)

Результаты и обсуждение

Функциональное состояние ССС и показатели сосудодвигательной функции эндотелия ППА в фоновый период у испытуемых-добровольцев были в пределах возрастной нормы. На ЭКГ и ХМ ЭКГ в фоновый период у испытуемых-добровольцев регистрировали особенности изменения ритма и проводимости сердца: синусовая аритмия дыхательного типа у всех испытуемых; брадикардия у 1 испытуемого; миграция источника водителя ритма в пределах правого предсердия у 3 испытуемых; синдром ранней реполяризации желудочков у 1 испытуемого. Данные физикального осмотра и биоэлектрической активности миокарда у испытуемых-добровольцев представлены в табл. 1.

После 520-суточной изоляции у 2 испытуемых-добровольцев были зарегистрированы кратковременные эпизоды наджелудочковой экстрасистолии и тахикардии, что, по-видимому, связано с изменениями нейрогуморальной регуляции работы сердца, дисбалансом симпатической и парасимпатической иннервации. Для количественной оценки электрической нестабильности миокарда были проанализированы значения минимальных, максимальных и средних скорректированных и не скорректированных интервалов QT и JT, а также их дисперсии. Достоверных изменений величин этих интервалов не было выявлено.

Анализ вариабельности АД в фоновый период показал увеличение значений систолического АД (САД) и среднего АД (срАД) у 3 испытуемых. В первые 2-е суток после эксперимента у 3 испытуемых с пограничным АД (ПАГ) имела место более высокая вариабельность АД по сравнению с остальными. У 2 обследуемых с ПАГ величина индекса времени (ИВ) для САД была увеличена несколько больше, нежели величина ИВ для диастолического АД (ДАД),

что может быть связано с преобладанием в выборке мужчин с ПАГ, характеризующейся вовлечением в процесс нейро-гуморальных механизмов гиперактивации ренин-ангиотензин-альдостероновой системы.

Основные параметры центральной гемодинамики, полученные при анализе эхоКГ в первые 2 сут после эксперимента, представлены в табл. 2.

У испытуемых-добровольцев с ПАГ были зарегистрированы достоверно большие значения объемных показателей: конечного диастолического объема (КДО, $p < 0,05$), конечного систолического объема (КСО, $p < 0,05$) и показателей гипертрофии: межжелудочковой перегородки в диастоле (МЖПд, $p < 0,005$), задней стенки левого желудочка (ЛЖ) в диастоле (ЗСЛЖд, $p < 0,0005$), относительной толщины стенок ЛЖ (ОТС ЛЖ, $p < 0,05$), индекса массы миокарда ЛЖ (ИММ ЛЖ, $p < 0,001$) при сравнении с испытуемыми-добровольцами с нормальным уровнем АД.

Таблица 2

Параметры внутрисердечной гемодинамики у испытуемых-добровольцев

Показатель	ПАГ	НД
КДОлж, мл	121,4 ± 19,6*	107,2 ± 21,3
иКДОлж, мл/м ²	57,3 ± 12,5	58,1 ± 8,6
ФВлж, %	65,4 ± 11,7	59,3 ± 9,2
Vcf, с ⁻¹	1,17 ± 0,14	1,23 ± 0,24
ММЛЖ, гр	226,4 ± 51,9*	157,3 ± 42,1
ОТС, %	47,7 ± 0,4*	33,7 ± 0,3
ОТмжп, %	46,5 ± 1,3*	38,1 ± 0,7
ОТзслж, %	49,4 ± 1,7*	42,6 ± 0,4

Примечание. ПАГ – группа пограничной гипертензии; НД – группа с нормосистолией; * – $p < 0,05$.

Процесс ремоделирования миокарда у испытуемых-добровольцев с ПАГ затрагивает увеличение относительной толщины стенок (ОТС) МЖП и ЗСЛЖ, о чем может свидетельствовать возрастание 3 индексов ремоделирования, а именно ОТС миокарда, ОТС МЖП и ОТС ЗСЛЖ. Индексы глобальной сократимости ЛЖ – фракция выброса левого желудочка (ФВлж) и скорость циркулярного укорочения волокон миокарда (V_{cf}) – у испытуемых-добровольцев с ПАГ также были несколько снижены по сравнению с группой испытуемых с нормальным АД. Полученные результаты свидетельствовали о начинающемся процессе ремоделирования миокарда под влиянием повышенного АД. Данный процесс у испытуемых с ПАГ проявлялся перестройкой объемов левых полостей сердца и относительной гипертрофией стенок камеры, которые в состоянии покоя не справлялись с возросшей нагрузкой. Изменения внутрисердечной гемодинамики характеризуются изменениями раннего диастолического наполнения ЛЖ, патогенетически связанными с процессом активной релаксации.

Для объяснения особенностей центральной гемодинамики в группе испытуемых-добровольцев с ПАГ сопоставили результаты исследования центральной гемодинамики с показателями периферического кровотока по результатам анализа ЭЗВД ППА. Перед началом эксперимента средний диаметр правой плечевой артерии и средняя скорость кровотока в 2 исследуемых группах испытуемых достоверно не различались. У испытуемых-добровольцев с нормосистолией в ответ на постокклюзионное увеличение кровотока отмечали расширение диаметра ППА в среднем на $12,6 \pm 1,5$ %. При проведении пробы с реактивной гиперемией в группе испытуемых с ПАГ и дислипидемией при увеличении скорости кровотока на $54,1 \pm 8,6$ % диаметр ППА увеличился на $7,3 \pm 0,6$ %, что было значительно ниже показателя контрольной группы ($p < 0,05$). По данным, полученным при анализе показателей ЭЗВД и чувствительности плечевой артерии к напряжению сдвига после эксперимента выявлены признаки эндотелиальной дисфункции в группе испытуемых с ПАГ: критерий Фишера = $56,30$ % при $p < 0,0001$. Таким образом, изменения эндотелиальной функции ППА выявлены у группы испытуемых с ПАГ, дислипидемией и изменением показателей центральной гемодинамики, что, вероятно, обусловлено повышенной продукцией катехоламинов, выступающей как пусковой механизм оксидативного стресса, и других процессов, приводящих к эндотелиальной дисфункции.

По данным ВЭМ до изоляции у всех испытуемых проба характеризовалась как отрицательная. При этом у 3 испытуемых-добровольцев отмечалась удовлетворительная переносимость пробы с реакцией АД по гипертоническому типу. После изоля-

ции удовлетворительная переносимость выявлена у 5 испытуемых-добровольцев. У 2 обследуемых с хорошей переносимостью нагрузки в фоновый период отмечали ухудшение состояния в связи с появлением гипертонической реакции при повышении нагрузки на одну ступень. У 1 испытуемого с удовлетворительной переносимостью пробы в фоновый период после изоляции отмечали горизонтальную депрессию сегмента ST до 1 мм и инверсию зубца T до слабо отрицательного в отведении V2 и уплощение зубца T в отведении V3 на пике нагрузки с восстановлением показателей ЭКГ на 5-й минуте ПВ.

У 5 испытуемых до изоляции определяли адекватную реакцию кровотока в МЦР на выполнение нагрузки. Происходило включение механизмов адаптации к нагрузке на 2-й нагрузочной ступени (тенденция просматривается на рис. 1, а) в виде прироста максимальной систолической скорости (V_s) и повышения индексов: пульсации (PI) и сосудистого сопротивления (RI) относительно первой ступени нагрузки, т.е. увеличение тонуса и эластично-упругих свойств сосудов. Во время всей нагрузки показатель V_s был стабилен, что указывает на достаточные резервные возможности ССС. В ПВ (рис. 2, а) у данных испытуемых отмечали плавное снижение показателей микроциркуляции и их стабилизацию на 6–8-й минутах. У 1 испытуемого наблюдали снижение V_s на максимуме нагрузки по отношению к фоновому значению при низких индексах PI и RI, что свидетельствовало о нарушении механизмов регуляции и как следствие перераспределении крови в дистальные отделы. Данные изменения коррелировали с динамикой пульсового давления, характеризуя его недостаточный прирост на фоне всей пробы.

Результаты ВЭМ после изоляции у 5 испытуемых выявили снижение кровотока в МЦР относительно фоновых исследований. При максимальной нагрузке наблюдали менее выраженный подъем показателя V_s по отношению к исходной пробе, причем у 1 из них наблюдали снижение V_s (рис. 1, б). Кроме того, во время всей пробы отмечали колебания показателей кровотока в МЦР, что указывает на нарушение механизмов регуляции и подключение резервных механизмов (так, при недостаточном приросте V_s отмечали увеличение сосудистых индексов, и наоборот). В ПВ у данных испытуемых изменения показателей кровотока в МЦР были ярко выражены, имели несистемный тип колебательного характера и не всегда нормализовались к 10-й минуте (рис. 2, б). У одного из испытуемых динамика V_s сохранилась – по-прежнему отмечали уменьшение значения на максимальной нагрузке по отношению к фоновому значению. Однако, в отличие от исследования до изоляции индексы кровотока кратковременно повысились с последующим более выраженным их снижением.

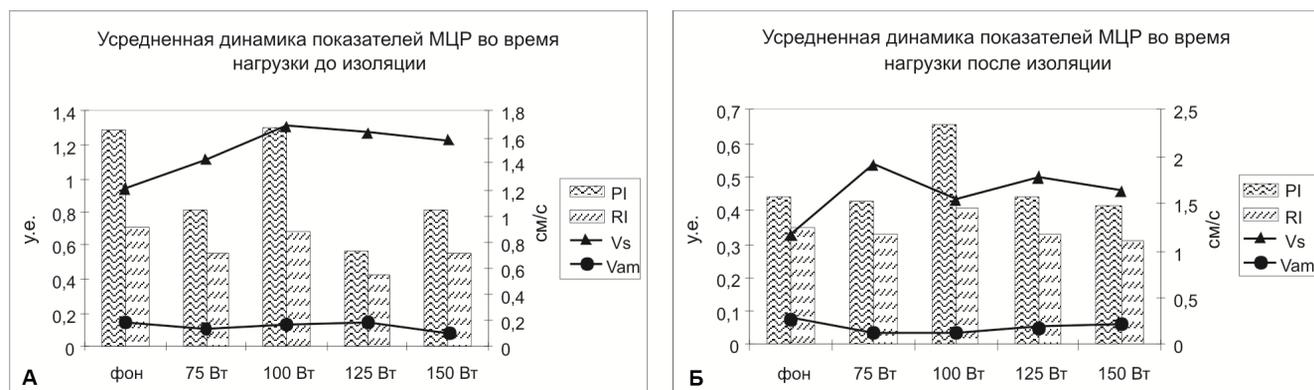


Рис. 1. Динамика изменения показателей кровотока в МЦР во время нагрузки. Здесь и на рис. 2: А – до изоляции; Б – после изоляции; PI – индекс пульсации; RI – индекс сосудистого сопротивления; Vs – максимальная систолическая скорость; Vam – скорость

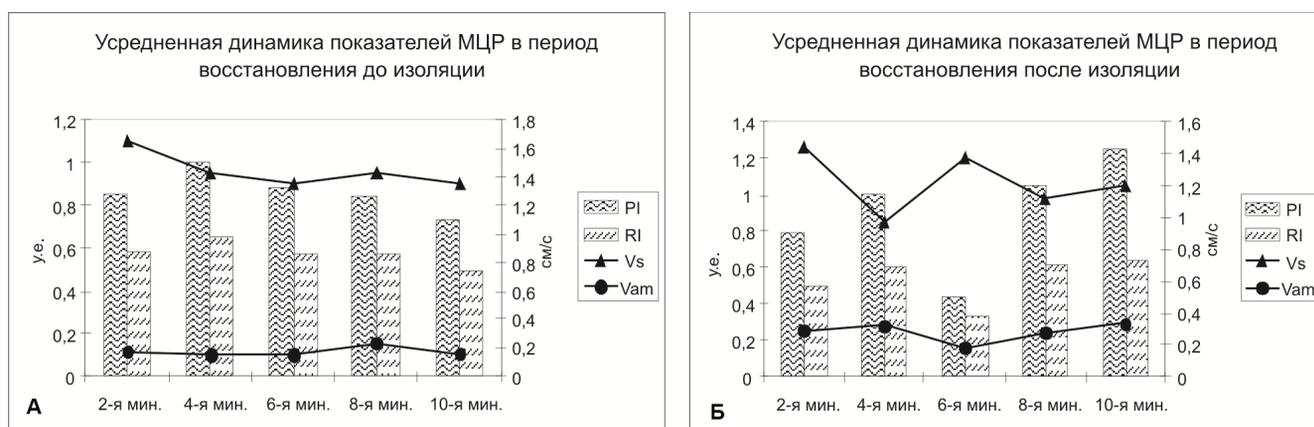


Рис. 2. Динамика изменения показателей кровотока МЦР в периоде восстановления

Индексы PI и RI в период максимальной нагрузки в исследовании после изоляции были снижены по отношению данного показателя до изоляции в среднем на 36 %. Таким образом, нельзя исключить включения компенсаторного механизма по типу централизации кровообращения и увеличения риска коллаптоидной реакции в ПВ.

Выводы

Результаты проведенного исследования показали, что условия 520-суточного моделируемого полета оказывают более выраженное влияние на ССС испытуемых-добровольцев по сравнению со 105-суточным. Испытуемые-добровольцы с ПАГ, имеющие изменения вазомоторной функции эндотелия, склонный к повышенному риску развития атеросклероза и его осложнений. У испытуемых после длительной изоляции остается напряжение механизмов регуляции ССС. Этот фактор необходимо учитывать при отборе претендентов для участия в межпланетных космических полетах.

Строгий отбор по состоянию ССС позволит исключить претендентов даже с пограничными изменениями показателей. «Цена адаптации» к условиям космического полета у таких людей может быть слишком высока.

Список литературы

1. Буйлов С.П., Воронков Ю.И., Степанова Г.П. и др. Изучение влияния 105-суточной изоляции в гермообъеме на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы испытуемых-добровольцев // *Авиакосм. и экол. мед.* 2010. Т. 44. № 4. С. 27–30.
2. Buylov S.P., Voronkov Yu.I., Stepanova G.P. et al. Studies of the influence of 105-day isolation and confinement on the functional state of the cardiovascular system in volunteered test-subjects // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2010. V. 44. № 4. P. 27–30.
3. Пул С.Л., Воронков Ю.И., Воган К.Ф. Медицинские требования и процедуры при отборе космонавтов. Совм. рос.-амер. изд. 2004. С. 11–45.

Pull S.L., Voronkov Yu.I., Vogan K.F. Medical requirements and procedures for astronaut selection. US – Russia co-publication. 2004. P. 11–45.

3. Гирина М.Б., Морозова Е.А. Перспективы развития ультразвуковой высокочастотной доплеровской флоуметрии // Тр. науч.-практ. конф. «Методы исследования регионарного кровообращения и микроциркуляции в клинике». СПб., 2004. С. 17–24.

Girina M.B., Morozova E.A. Prospects for development of high-frequency ultrasonic Doppler flowmetry // Publications of the research and implementation conference «Clinical research methods for regional and microcirculation». St. Petersburg, 2004. P. 17–24.

4. Петрищев Н.Н., Васина Е.Ю., Корнеев Н.В. и др. Способ определения сеактивности сосудов микроциркуляторного русла и вазомоторной функции эндотелия с использованием высокочастотной доплерографии. Медицинская технология. СПб., 2009.

Petrishchev N.N., Vasina E.Yu., Korneev N.V. et al. Methods of determining of the microcirculation reactivity and the endothelium vasomotion using high-frequency Doppler ultrasonography. Medical technology. St. Petersburg, 2009.

5. Corretti M.C., Anderson T.J., Benjamin E.J. et al. Guidelines for the ultrasound assessment of endothelial-dependent flow-mediated vasodilatation of brachial artery // J. Am. Coll. Cardiol. 2002. V. 39. P. 257–265.

6. Celermajer D.S., Sorensen K.E., Gooch V.M. et al. Non-invasive detection of endothelial dysfunction in children and adults at risk of atherosclerosis // Lancet. 1992. V. 340. P. 1111–1115.

7. Иванова О.В., Балахонова Т.В., Соболева Г.Н. и др. Состояние эндотелийзависимой вазодилатации плечевой артерии у больных гипертонической болезнью, оцениваемое с помощью ультразвука высокого разрешения // Кардиология. 1997. № 7. С. 41–46.

Ivanova O.V., Balakhonova T.V., Soboleva G.N. et al. State of brachial artery endothelial-dependent vasodilatation in patients with hypertension, measured using high-resolution ultrasound // Kardiologiya. 1997. № 7. P. 41–46.

8. Widlansky M.E., Gokce N., Keaney J.F. et al. The clinical implications of endothelial dysfunction // J. Am. Coll. Cardiol. 2003. V. 42. P. 1149–1160.

EFFECTS OF THE 520-DAY ISOLATION ON THE FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM

Stepanova G.P., Buylov S.P., Eshchenko A.I., Skedina M.A., Voronkov Yu.I.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 4. P. 23–27

Purpose of the work was to study the cardiovascular effects of simulated factors in a 520-day crewed mission to Mars, and to validate the diagnostic value of the ultrasonic investigation of microcirculation and endothelium-dependent dilation of the right brachial artery in 6 male volunteers at the age of 28 to 39 years. It appears that 520-d isolation affected intracardiac hemodynamics and endothelium function more dramatically compared with 105-d isolation, increasing the risk of atherosclerosis. These findings add insight into the «cost of human adaptation» to very long isolation.

Key words: cardiovascular system, test-subject, ultrasonic investigation of microcirculation, endothelium-dependent dilation of the right brachial artery, ECG and BP monitoring.

Поступила 27.03.2014

УДК 159.9:629.7

ВЗАИМОСВЯЗАННАЯ ОПЕРАТОРСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО СТРЕССА

Еськов К.Н., Виногодова А.Г.

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

С целью мониторинга особенностей межличностного инструментального взаимодействия проведено гомеостатическое тестирование участников эксперимента с изоляцией в условиях аномальной жары и задымления. Установлено, что фактор внешнего экстремального воздействия влияет на активность членов изолированной малой группы, проявляемую в процессе совместной деятельности.

Показано, что гомеостатическое тестирование дает возможность различать 2 типа людей – лидеров и ведомых, а также выявлять лиц, сочетающих в себе признаки лидера и ведомого.

Полученные данные позволяют предположить, что в успешность группового решения единой задачи, наряду с обдуманными, целенаправленными (лидерскими) действиями, вносят вклад и спонтанные, осуществляемые по принципу случайного поиска, действия операторов.

Ключевые слова: гомеостатическое тестирование, изолированная малая группа, экстремальное воздействие, индивидуальная активность, лидерские действия.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 4. С. 28–32.

Все чаще в разных регионах земли возникают природные аномалии различной конфигурации и продолжительности. Актуальным остается изучение воздействия климатических изменений на организм человека.

В сентябре – октябре 2012 г. в Институте медико-биологических проблем РАН был проведен эксперимент, организованный Российским кардиологическим научно-производственным комплексом Минздрава РФ и направленный на изучение психофизиологических эффектов длительного климатического стресса аномальной жары и задымления, аналогичных тем, что наблюдались в центральных регионах России в 2010 г. Целью эксперимента было получение исходных данных для разработки мероприятий по облегчению адаптации человеческого организма к неблагоприятным воздействиям, сопряженным с климатическими катаклизмами.

Методика

В герметичном жилом модуле медико-технического экспериментального комплекса, созданного

для реализации проекта «Марс-500», на протяжении 30 сут находились 6 практически здоровых мужчин-добровольцев в возрасте 22–46 лет. Все они прошли предварительное медицинское обследование и подписали «Информированное согласие» на участие в исследованиях.

Дневные значения температуры колебались от +30 °С до +38 °С при относительной влажности воздуха 30–50 %, ночные – от +26 °С до +31 °С при относительной влажности 50–75 %. В модулях медико-технического экспериментального комплекса поддерживался зарегистрированный в июле – августе 2010 г. в Москве уровень содержания окиси углерода от 5 до 40 мг/м³. Атмосферное давление поддерживалось в пределах 743–753 мм рт. ст.

Как показывает опыт исследований групповой динамики изолированных малых групп, в подобных стрессогенных условиях жизнедеятельности – условиях замкнутого пространства, вынужденных межличностных контактов, внешних экстремальных воздействий – возрастает риск открытых (явных) проявлений скрытой (латентной) конфликтности [1–3]. В данном эксперименте, помимо мониторинга психологического состояния испытуемых с использованием традиционных бланковых тестов, проводился контроль особенностей межличностного инструментального взаимодействия по методике «Гомеостат». Эта методика была разработана в 1963 г. коллективом специалистов под руководством Ф.Д. Горбова для моделирования взаимосвязанной операторской деятельности, в реальности выполняемой с использованием технических систем различного назначения.

В устройстве «Гомеостат» реализована идея о взаимных перекрестных связях, посредством которых каждый из членов группы, решая свою частную задачу, влиял на ход остальных. Эти взаимные связи и моделируют ту неспецифическую сторону групповой деятельности, где можно определять характеристики поведения индивида и группы в целом [1, 4, 5].

«Гомеостат» является сложной взаимосвязанной биотехнической системой автономного саморегулирования, в узлах которой располагаются активные элементы – люди-операторы. Отечественный

«Гомеостат» формально близок гомеостату Эшби (1948), устройству, разработанному английским ученым W. Ross Ashby, которому принадлежит первая попытка моделирования гомеостаза – состояния относительного динамического равновесия системы, поддерживаемого за счет механизмов саморегуляции. Изначально «Гомеостат» (как биотехническая система) находится в состоянии устойчивого (статического) равновесия [6]. Специально разработанная компьютерная программа принудительно выводит систему из равновесия, и она переходит в состояние стандартной разбалансировки. С этого момента стартует взаимосвязанная операторская деятельность: группа операторов осуществляет поиск исходного равновесного состояния системы (устойчивого аттрактора), или, как принято говорить, решает инструментальную гомеостатическую задачу, успешность решения которой определяется не только сложностью самой задачи, но и степенью влияния партнеров друг на друга.

Медико-психологические исследования проводились в медицинском модуле медико-технического экспериментального комплекса. Гомеостатическое тестирование проводилось до, в период и после окончания модельного эксперимента. За время 30-суточной «нестрогой» изоляции (возможность видаться с родными, общаться по телефону, пользоваться Интернетом) методика «Гомеостат» проводилась еженедельно. Всего за 6 сеансов гомеостатического тестирования (1 сеанс на фоновом этапе, 4 – в изоляции и 1 – в постэкспериментальный период) участникам эксперимента было предложено решить 56 инструментальных гомеостатических задач зачетной степени сложности [6]. Полученный массив исходных данных (ряд индивидуальных и групповых показателей взаимосвязанной операторской деятельности) был проанализирован с использованием статистических методов и графических возможностей, обеспечиваемых программой MS Excel.

Результаты и обсуждение

В период 30-суточной экспериментальной изоляции у всех 6 испытуемых наблюдался поступательный рост (при незначительном снижении у 3 испытуемых на заключительном этапе изоляции) значений показателя общей (суммарной у каждого отдельного человека) индивидуальной активности (Work Factor – WF %) – отношения времени моторной активности оператора ко времени решения задачи [6]. Линии тренда, построенные без учета данных фоновых и постэкспериментального тестирования и охватывающие только изоляционный период, у 6 испытуемых (идентификационные коды 701–706) имели угол наклона к оси абсцисс соответственно 36, 32, 7, 12, 27 и 45° градусов. Прямая линейного тренда

временного ряда усредненных значений показателя общей индивидуальной активности имела угол наклона 27°, что при значительном, примерно в 2 раза (рис. 1), увеличении усредненных значений показателя от начала к концу изоляционного периода позволяет говорить о заметном росте среднего значения показателя общей индивидуальной активности в период экспериментальной изоляции. Такое нарастание связано, с одной стороны, с начальным, «шоковым» (период острой адаптации) снижением индивидуальной активности у всех испытуемых относительно фона и, с другой стороны, с дальнейшей сонаправленностью стратегического адаптационного ответа (схожестью индивидуальных паттернов психофизиологического реагирования) на столь сильное экзогенное воздействие.

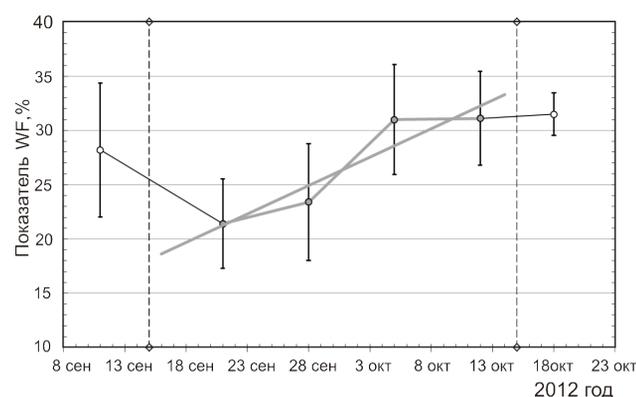


Рис. 1. Динамика показателя общей индивидуальной активности WF

Близкий по продолжительности эксперимент EXEMSI проходил на базе института DLR (Германия, Кельн) в сентябре – октябре 1992 г. Международный экипаж в количестве 4 человек (1 женщина) находился в условиях 2-месячной камерной изоляции. Параметры микроклимата и газовый состав атмосферы внутри объекта соответствовали обычным, ничем не отягощенным условиям. Целью эксперимента была оценка влияния длительной изоляции на психическое состояние и работоспособность обследуемых. Результаты гомеостатического тестирования экипажа показали [7], что линейный тренд динамики усредненного (по всем 4 обследуемым) значения показателя общей индивидуальной активности (при ее волнообразном характере с незначительными колебаниями) продемонстрировал отсутствие роста активности на протяжении всего изоляционного периода (угол наклона трендовой линии к оси абсцисс составил всего 3,5°). Таким образом, можно утверждать, что именно фактор внешнего экстремального воздействия (в данном случае в виде неблагоприятных микроклима-

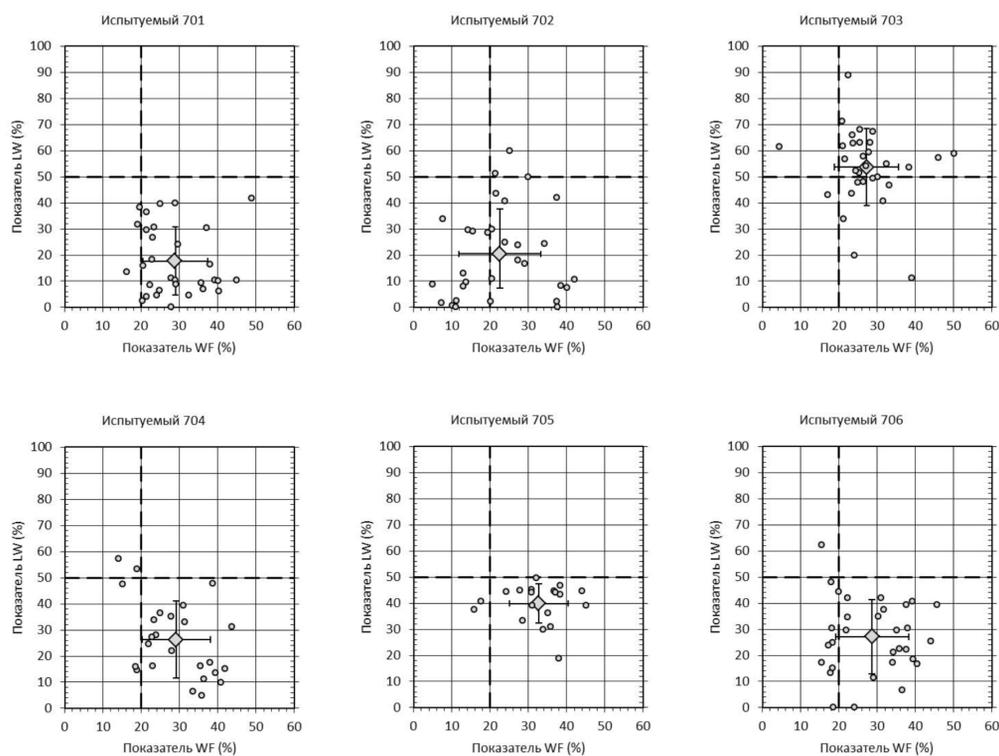


Рис. 2. Диаграммы рассеяния показателей индивидуальной активности (LW vs WF)

тических условий) оказывал влияние на динамику общей индивидуальной активности членов изолированной малой группы от начала к концу периода пребывания в изоляции.

Значение усредненного (по всем обследуемым) показателя относительной лидерской активности (Leader Work – LW %) – отношения времени, затраченного на лидерские действия, ко времени активных действий оператора [6] – в каждом сеансе гомеостатического тестирования оставалось практически неизменным ($30,5 \pm 3$). Здесь нужно пояснить, что лидерскими мы считали продуманные, осмысленные управляющие действия, сознательно направленные в русло эффективного решения задачи, в противоположность спонтанным, необдуманым поисковым действиям, направленным «куда попало». При этом вариативность показателя LW % на протяжении эксперимента у одного из операторов была весьма существенной, у остальных же – сравнительно небольшой (среднее значение и среднее квадратическое отклонение у оператора 701 равнялись 20,1 и 14,2 соответственно, у оператора 702 – 20,2 и 9,3, у оператора 703 – 53,8 и 9,6, у оператора 704 – 25,1 и 7,1, у оператора 705 – 40,6 и 2,8, у оператора 706 – 27,2 и 4,9). Подобное наблюдалось и в упомянутом выше эксперименте EXEMSI, и в ряде других наземных экспериментах с продолжительной изоляцией.

Можно предположить, что стабильность усредненного по группе значения показателя относительной лидерской активности на протяжении наблюдаемого периода отражает статусное свойство конкретной изолированной малой группы, характеризующее ее способность к успешному взаимодействию, которое обеспечивается эффективным сочетанием индивидуальных стилей поведения, необходимым для решения общей задачи.

Индивидуальные особенности тактики поведения основаны отчасти на приобретенных, отчасти на врожденных механизмах высшей нервной деятельности и довольно устойчивы. Согласно диаграммам рассеяния показателей индивидуальной активности (рис. 2) тактику поведения испытуемого 703, отмеченную преобладанием высоких (свыше 50 %) значений LW, можно охарактеризовать как активную лидерскую, тактику испытуемого 705 – как достаточно активную, близкую к лидерской (основная масса значений LW у него сосредоточена в диапазоне 35–50 %), тактику испытуемого 701 – как тактику ведомого с высокой индивидуальной активностью (величины LW большей частью находятся у него в пределах от 0 до 30 %). Испытуемые 702, 704 и 706 демонстрируют тактику с неопределенным поведением, сочетающим действия лидера и ведомого (при сравнительно небольшом среднем уровне лидерской активности у них встречаются высокие значения LW, достигающие 50 и даже 60 %).

Отсюда следует, что при выполнении совместной деятельности не все люди проявляют себя как «чистые лидеры» или «чистые ведомые»; некоторые из них, решая общую задачу, совмещают в себе качества лидеров и ведомых.

В процессе анализа материала провели оценку динамики результативности взаимосвязанной операторской деятельности. Показателем результативности служил процент решенных за сеанс гомеостатического тестирования инструментальных задач. При фоновом тестировании результативность составляла в среднем 58 %. В период изоляции еженедельные показатели результативности в среднегрупповом выражении равнялись 38, 50, 90, 50 %, в постизоляционном обследовании – 50 %. Сравнивая между собой рис. 1 и 3, можно отметить сходство в динамике показателей результативности и общей индивидуальной активности испытуемых. Это позволяет думать, что в данных исследованиях успешность совместной деятельности обеспечивалась не только лидерской, но и общей активностью операторов, т.е. не только обдуманно, целенаправленными актами, но и поисковыми действиями неопределенной направленности. Очевидно, с точки зрения достижения положительных результатов в коллективном решении операторских задач роль лидера незаменима. Но в то же время активная деятельность его партнеров, пусть даже не всегда четко продуманная, но отмеченная высокой мотивацией на успех, может принести лучший результат, чем пассивность и нежелание работать.

В заключение хотелось бы отметить следующее.

В экстремальных условиях негативное влияние на эффективность межличностного взаимодействия и успешность адаптации к условиям групповой деятельности могут оказывать стереотипы межличностного восприятия, часто являющиеся причиной конфликтной напряженности между членами группы. Однако наше исследование влияния длительного воздействия экстремальных факторов (аномальной жары и задымления атмосферы) на групповую динамику показало, что при выполнении сложной взаимозависимой деятельности, требующей кооперации и функционального соподчинения, со стороны испытуемых не наблюдалось каких-либо проявлений межличностной агрессии, эмоциональной напряженности, латентной конфликтности. В экипаже превалировал конструктивный, доброжелательный, иногда ироничный стиль общения при обсуждении возникающих проблем.

Выводы

1. Экстремальная ситуация, связанная с неблагоприятными климатическими условиями (высокой температурой воздуха и наличием в атмосфере окиси углерода), оказывает влияние на активность

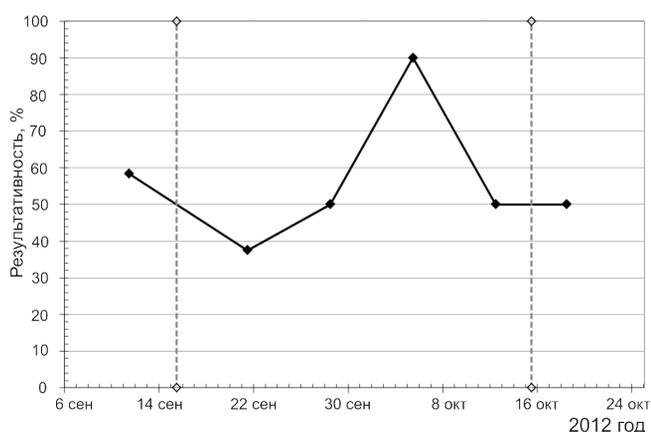


Рис. 3. Динамика результативности совместной деятельности

членов изолированной малой группы, проявляемую в процессе совместной деятельности.

2. Гомеостатическое тестирование позволяет различать 2 типа людей – лидеров и ведомых, а также выявлять лиц, совмещающих в себе качества лидера и ведомого.

3. Есть основания полагать, что успешность совместной операторской деятельности может обеспечиваться не только обдуманно, целенаправленными действиями лидера группы, но и активным участием его партнеров, совершающих операции по принципу случайного поиска.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФГФ (проект 12-06-00928).

Список литературы

- Новиков М.А. Психофизиологические и экопсихологические аспекты межличностного взаимодействия в автономных условиях // Проблема общения в психологии. М., 1981. С. 178–217.
Novikov M.A. Psycho-physiological and eco-psychological aspects of interpersonal interaction in autonomous conditions // The problem of communication in psychology. Moscow, 1981. P. 178–217.
- Проблема психической астенизации в длительном космическом полете / В.И. Мясников, С.И. Степанова, ред. М., 2000.
The problem of psychic asthenia in prolonged space flight / V.I. Myasnikov, S.I. Stepanova, eds. Moscow, 2000.
- Степанова С.И., Мясников В.И., Козеренко О.П. и др. Полет на Марс: прогностический анализ сопутствующих психологических проблем // Авиакосм. и экол. мед. 2003. Т. 37. № 5. С. 46–50.
Stepanova S.I., Myasnikov V.I., Kozerenko O.P. et al. A mission to Mars: a prognostic analysis of concurrent

psychological problems // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2003. V. 37. № 5. P. 46–50.

4. Горбов Ф.Д., Новиков М.А. Вопросы интегративной оценки групповой деятельности // Тезисы докл. II съезда Общества психологов. М., 1963. Вып. 3. С. 49–50.

Gorbov F.D., Novikov M.A. The questions of integrative assessment of group activity // *Proceedings of II Congress of the Society of psychologists*. Moscow, 1963. Issue 3. P. 49–50.

5. Novikov M.A., Eskov K.N., Davies C. et al. Homeostat – A Bioengineering System // *Proceedings of 23rd International Conference on Environmental Systems*. (USA, Colorado Springs, July, 12–15, 1993). P. 1–8.

6. Еськов К.Н. Эффективность взаимосвязанной операторской деятельности как основание классификации изолированных малых групп // Там же. 2013. Т. 47. № 2. С. 25–29.

Eskov K.N. Effectiveness of interrelative operator's work as a criterion for classification of isolated small groups // *Ibid.* 2013. V. 47. № 2. P. 25–29.

7. Vinokhodova A.G., Novikov M.A., Eskov K.N. et al. Group dynamics during the EXEMSI isolation study // *Advances in Space Biology and Medicine* / S.L. Bonting, ed. 1996. P. 233–244.

Поступила 07.04.2014

INTERCONNECTED OPERATOR'S ACTIVITY UNDER THE CONDITIONS OF EXPERIMENTAL CLIMATIC STRESS

Eskov K.N., Vinokhodova A.G.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 4. P. 28–32

Homeostatic testing was used to monitor the interpersonal instrumental interaction of participants in the experiment with isolation in the conditions of abnormally high temperatures and pall of smoke. It was found that the factor of extreme exposure influenced the team work activity in the isolated small group.

Homeostatic testing allowed differentiation between 2 types of people, i.e. leaders and subordinates, and identify those who combine traits of both the leader and subordinate.

The data suggest that success of a common task is determined as by well-considered, purposive actions of the leader, so by spontaneous, on the pattern of random search, contribution from operators.

Key words: homeostatic testing, isolated small group, extreme exposure, individual activity, leadership behavior.

УДК 629.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ЗНАКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ С АВИАЦИОННОГО ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ИНДИКАТОРА

Иванов А.И.¹, Лапа В.В.¹, Давыдов В.В.¹, Рябинин В.А.², Голосов С.Ю.¹

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

²ОАО «Московский вертолетный завод им. М.Л. Миля», пос. Томилино, Московская область
E-mail: seregavmola@mail.ru

Представлены результаты тахистоскопических экспериментов по надежности опознания оператором знаковой информации с жидкокристаллического индикатора при влиянии разрешения экрана (640 x 480, 800 x 600 и 1024 x 768 пикселей), углового размера элементов изображения (10, 15, 20 и 30 угловых мин) и их яркостного контраста с фоном (от 0,2 до 1,4 отн. ед.).

Получены количественные зависимости, отражающие влияние вышеперечисленных параметров на надежность опознания. Знаки размером 30 угловых мин с яркостным контрастом 0,5 надежно опознавались при всех исследованных разрешениях экрана. Надежность опознания знаков размерами 20 и 15 угловых мин существенно зависела от разрешения экрана и величины яркостного контраста знака с фоном. Для знаков размером 10 угловых мин с яркостным контрастом $\geq 1,0$ вероятность опознания не превышала 0,59–0,7.

Ключевые слова: восприятие, знаковая информация, угловой размер знака, яркостный контраст знака, жидкокристаллический индикатор, разрешение экрана.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 4. С. 33–36.

В системе отображения информации современных летательных аппаратов (ЛА) все большее значение приобретают многофункциональные электронные индикаторы, позволяющие выдавать экипажу разнородную полетную информацию и реализовывать различные способы ее представления. Концепция бортовой электронной системы отображения информации (СОИ) реализуется как на отечественных, так и на зарубежных ЛА [1]. В составе СОИ широко применяются индикаторы на основе жидкокристаллических матриц, характеристики которых могут существенно влиять на надежность восприятия отображаемой информации. Наиболее значимыми из них являются: разрешение экрана (определяемое количеством отдельных дискретных элементов – пикселей, из которых составлено изображение), угловые размеры элементов изображения и их яркостный контраст с фоном. Согласно существующим нормативно-техническим докумен-

там [2], безошибочное восприятие с экрана авиационного электронного индикатора обеспечивается для знаков размерами 30 и более угловых мин при яркостном контрасте 0,5. Однако для отображения информации на авиационных индикаторах используются знаки и меньших размеров. В этой связи получение зависимостей надежности восприятия знаковой информации от вышеперечисленных характеристик имеет важное значение для практики эргономического проектирования информационных полей авиационных жидкокристаллических индикаторов [6].

Цель данного исследования состояла в экспериментальной оценке надежности восприятия знаковой информации с жидкокристаллического индикатора при сочетанном влиянии разрешения экрана, угловых размеров элементов изображения и их яркостного контраста с фоном.

Методика

Эксперименты проводили в помещении с контролируемым уровнем освещенности. Средняя освещенность в плоскости экрана индикатора составляла 150 лк и сохранялась постоянной во всех экспериментах.

В качестве индикатора был использован жидкокристаллический монитор BLISS 1530 со следующими характеристиками: размер экрана 304,1 x 228,1 мм (диагональ 15 дюймов), размер пикселя 0,297 x 0,297 мм; максимальное количество пикселей 1024 x 768. Таким образом, данный монитор позволял моделировать применяемые в авиационных индикаторах разрешения экрана (640 x 480, 800 x 600 и 1024 x 768 пикселей).

Монитор располагали на расстоянии 80 см от плоскости глаз наблюдателя, что соответствует среднему расстоянию наблюдения экрана индикатора в кабине ЛА. Для предъявления на экране знаковой информации с заданным временем экспозиции была разработана программа «электронный тахистоскоп». В качестве алфавита использовали

буквенно-цифровой ряд из 15 знаков белого цвета на черном фоне размерами 10, 15, 20 и 30 угловых мин, предъявлявшихся в случайном порядке. Для отображения знаков использовали стандартный шрифт Times New Roman.

Для измерения яркости знаков и фона использовали яркомер фирмы Bruel & Kjaer (свидетельство о поверке «Ростест-Москва» № 448/49447). Измерения проводили в соответствии с требованиями ОСТ 1 00669-87 [3]. Погрешность измерений яркости $\pm 3\%$.

Яркостный контраст (К) знака и фона в соответствии с ОСТ 1 00533-87 [4] определяли по формуле

$$K = \frac{L - L_{\phi}}{L_{\phi}},$$

где L – яркость знака с учетом дополнительной яркости от внешнего освещения, кд/м^2 ; L_{ϕ} – яркость фона, на котором предъявляется знак, кд/м^2 .

Проведено 2 серии экспериментов.

В экспериментах 1-й серии исследовали влияние разрешения экрана (640 x 480, 800 x 600, 1024 x 768 пикселей) на надежность зрительного восприятия знаков размерами 10, 15, 20 и 30 угловых мин при величине яркостного контраста 0,5, соответствующей требованиям [2].

Во 2-й серии экспериментов исследовали надежность зрительного восприятия информации при сочетанном влиянии 3 переменных: разрешения экрана (640 x 480, 800 x 600, 1024 x 768 пикселей), угловых размеров знаков и их яркостного контраста с фоном. Значения яркостного контраста составляли: 0,2; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0 и 1,4.

Процедура эксперимента состояла в следующем. Испытатель располагался перед экраном. Голова фиксировалась на подбороднике, что обеспечивало постоянство расстояния наблюдения. Управление экспериментом осуществлялось с клавиатуры ПЭВМ самим испытуемым. После нажатия клавиши «пробел» на экране появлялась надпись «Начало работы»; при повторном ее нажатии на экране предъявлялся на 0,2 с один из знаков. Время предъявления выбрано исходя из того, что средняя величина скрытого периода зрительного восприятия простого знака составляет 0,2 с [5]. Задача испытуемого состояла в опознании предъявляемого знака. Ответ давался нажатием на соответствующую клавишу. Если знак не был опознан, нажималась клавиша «1».

Надежность зрительного восприятия знаков оценивали по вероятности их безошибочного опознания.

В каждой серии экспериментов приняли участие по 6 испытуемых с нормальным офтальмологическим статусом.

Результаты и обсуждение

Как видно из представленных на рис. 1 данных, характеризующих влияние разрешения экрана на вероятность опознания знаков различного углового размера, увеличение разрешения экрана по-разному сказывалось на опознании знаков в зависимости от их углового размера.

Знаки размером 30 угловых мин надежно опознавались при всех исследованных разрешениях экрана. Для знаков размером 20 угловых мин изменение разрешения с 640 x 480 до 800 x 600 пикселей приводило к возрастанию вероятности опознания с 0,87 до 0,96, т.е. обеспечивало практически безошибочное восприятие информации. Дальнейшее увеличение разрешения экрана (до 1024 x 768 пикселей) практически не сказывалось на надежности опознания. Для знаков размером 15 и 10 угловых мин с увеличением разрешения экрана вероятность опознания возрастает, однако при заданном уровне яркостного контраста (0,5) безошибочное восприятие обеспечивалось только в 46 и 42 % случаев (с разрешением экрана 800 x 600 пикселей) и в 62 и 58 % (с разрешением экрана 1024 x 768) соответственно.

Полученные во 2-й серии экспериментов зависимости (рис. 2) показывают, что при величине контраста 0,2 и разрешении экрана 640 x 480 ни один из исследованных размеров знака не обеспечивает надежного опознания. При увеличении яркостного контраста вероятность опознания знаков возрастает: для максимального исследованного размера 30 угловых мин, безошибочное опознание знаков обеспечивается при яркостном контрасте около 0,5. При использовании знаков размерами 20 угловых мин для надежного опознания необходим контраст не менее 0,8.

При размерах знаков 15 и 10 угловых мин влияние яркостного контраста становится менее выраженным. В исследованном диапазоне контрастов для знаков размером 15 угловых мин вероятность их опознания не превышает 0,8, а для знаков размером 10 угловых мин – 0,48. Учитывая характер зависимости, можно предполагать, что при дальнейшем, даже существенном увеличении контраста не удастся обеспечить безошибочное опознание знаков размером 15 угловых мин и менее.

Анализ зависимостей опознания знаков от их яркостного контраста при разрешении экрана 800 x 600 (рис. 3) и 1024 x 768 (рис. 4) пикселей свидетельствует, что увеличение контраста знаков на экране с более высоким разрешением повышает вероятность их опознания.

Использование экрана с разрешениями 800 x 600 и 1024 x 780 пикселей позволило обеспечить (в 96 % случаев) опознание знаков размером 15 угловых мин при их яркостном контрасте 1,0. Вероятность

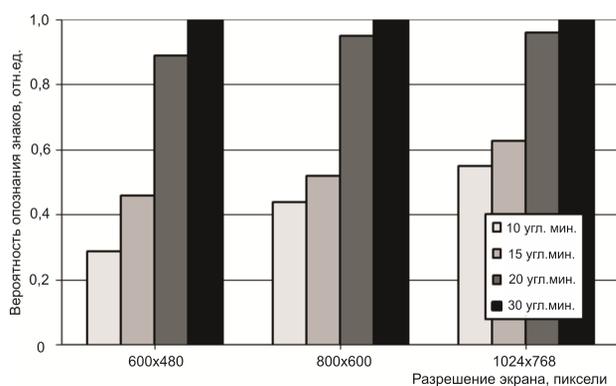


Рис. 1. Вероятность опознания знаков при различном разрешении экрана

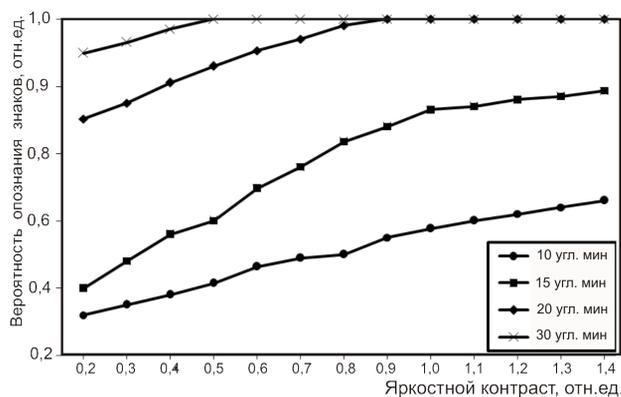


Рис. 2. Вероятность опознания знаков при различном яркостном контрасте с фоном (параметры экрана 640 x 480 пикселей)

опознания знаков размером 10 угловых мин для указанных величин разрешения экрана не превышала 0,59–0,7 при яркостном контрасте $\geq 1,0$.

Следовательно, при разрешении экрана 640 x 480 пикселей допустимо использовать знаки и символы размером не менее 20 угловых мин, а при разрешениях экрана 800 x 600 и более пикселей – размером не менее 15 угловых мин (при этом их яркостной контраст с фоном должен быть не менее 1,0).

Выводы

1. Надежность восприятия информации с авиационного жидкокристаллического индикатора обуславливается сочетанным влиянием разрешения экрана, углового размера элементов изображения и их яркостного контраста с фоном.

2. Определены характеристики знаков (угловые размеры и яркостный контраст с фоном), обеспечивающие их опознание с вероятностью не ниже 0,95 при различных значениях разрешения экрана индикатора.

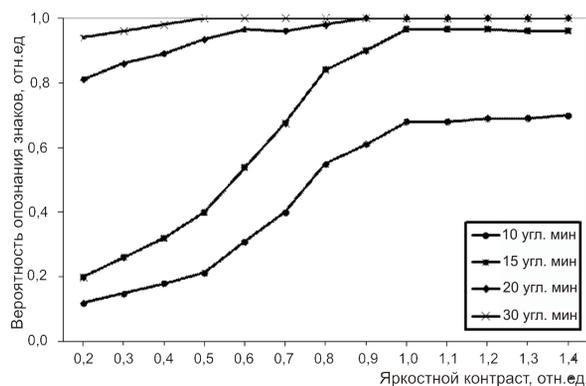


Рис. 3. Вероятность опознания знаков при различном яркостном контрасте с фоном (параметры экрана 800 x 600 пикселей)

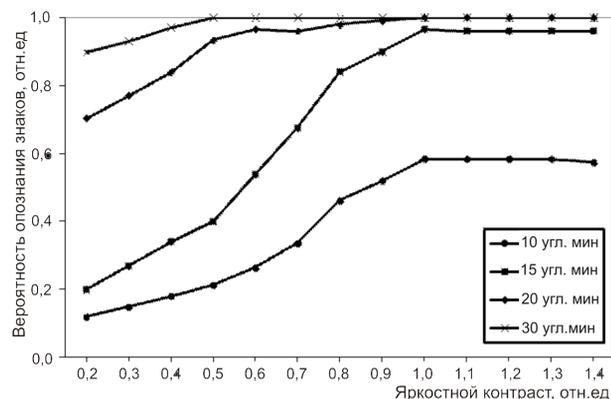


Рис. 4. Вероятность опознания знаков при различном яркостном контрасте с фоном (параметры экрана 1024 x 768 пикселей)

3. Для знаков размером 10 угловых мин с увеличением разрешения экрана более 800 x 600 пикселей и величины яркостного контраста знака с фоном $\geq 1,0$ вероятность опознания не превышала 0,59–0,7.

Список литературы

1. Аваев А.Л., Морин С.Ф., Коваленко П.А. Основные концепции развития электронных систем индикации и многофункциональных органов управления летательных аппаратов // Авиакосм. приборостроение. 2003. №1. С. 43–48.

Avaev A.L., Morin S.F., Kovalenko P.A. Basic concepts of the development of electronic display systems and multifunctional management of aircraft bodies // Aviakosmicheskoe priborostroenie. 2003. №1. P. 43–48.

2. ОСТ 100345-87. Система отображения информации в кабинах экипажа. Общие эргономические требования. Введ. 01.01.89. М., 1989.

OST 100345-87. Information display system in the cabin crew. General ergonomic requirements. Introduction. 01.01.89. Moscow, 1989.

3. ОСТ 1 00669-87. Оборудование авиационное внутрикабинное осветительное и светосигнальное. Методы измерения световых параметров. Введ. 01.01.88. М., 1989.

OST 1 00669-87. The equipment of aviation cockpit for lighting and light signaling. Methods of measurement of light parameters. Introduction. 01.01.88. Moscow, 1989.

4. ОСТ 1 00533-87. Система внутрикабинной световой сигнализации самолетов и вертолетов. Общие требования. Введ. 01.07.88. М., 1989.

OST 1 00533-87. The alarm light cockpit system of aircraft and helicopters. General requirements. Introduction. 01.07.88. Moscow, 1989.

5. Гератеволь З. Психология человека в самолете: Пер. с нем. М., 1956.

Gerathewohl Z. Human psychology in the plane: translation from German. Moscow, 1956.

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

Beginning of aviation and space medicine: textbook / I.B. Ushakov, ed. Moscow, 2007.

Поступила 28.04.2014

EXPERIMENTAL STUDIES OF RELIABILITY OF SYMBOLIC INFORMATION PERCEPTION FROM THE AVIATION LCD PANEL

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

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 4. P. 33–36

Results of tachistoscopic experiments on reliability of symbol recognition on LCD panel as a function of screen definition (640 x 480, 800 x 600 and 1024 x 768 pixels), angular size of a picture element (10, 15, 20 and 30 angular min) and luminance contrast (LC) with the background (0.2 to 1.4 standard units) are presented.

The obtained quantitative relations indicate significance of the above parameters for recognition reliability. Symbols with the size of 30 angular min and LC of 0.5 were recognizable irrespective of screen definition in the study. Recognition of symbols 20 and 15 angular min of size was much dependent on screen definition and LC of symbols. For symbols of size 10 angular min and LC ≥ 1.0 the recognition probability did not exceed 0.59–0.7.

Key words: perception, symbol information, angular size, luminance contrast, LCD panel, screen definition.

УДК 576.3

СТРУКТУРА КОРТИКАЛЬНОГО ЦИТОСКЕЛЕТА КАРДИОМИОЦИТОВ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА И ВОЛОКОН КАМБАЛОВИДНОЙ МЫШЦЫ КРЫСЫ ПОСЛЕ КРАТКОВРЕМЕННОГО АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОГО ВЫВЕШИВАНИЯ

Огнева И.В.^{1, 2}, Бирюков Н.С.¹, Лейнсоо Т.А.¹, Ларина И.М.¹

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

²Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова

E-mail: ilarina@imbp.ru

Цель исследования – определение структурных изменений в кортикальном цитоскелете в результате изменения внешних механических условий. Объектом были волокна камбаловидной мышцы и кардиомиоциты левого желудочка крысы породы Вистар. Антиортостатическое вывешивание проводили по методу Ильина – Новикова в модификации Морей-Холтон в течение 6, 12, 18, 24 и 72 ч. Определяли поперечную жесткость клеток, содержание немышечного актина и актинсвязывающих белков в мембранной и цитоплазматической фракциях белка и экспрессию соответствующих генов. Кроме того, определяли кортикостерон в сыворотке крови.

Через 6 ч происходило снижение актинсвязывающих белков в мембранной фракции: в кардиомиоцитах уменьшалось содержание альфа-актинина-1, в волокнах камбаловидной мышцы – альфа-актинина-4. В то же время в цитоплазматической фракции их содержание возрастало. Уровень экспрессии генов, кодирующих бета- и гамма-актин, альфа-актинин-1 и альфа-актинин-4 в волокнах камбаловидной мышцы снижался. Однако через 72 ч экспрессия гена альфа-актинина-1 восстанавливалась до уровня контроля. В кардиомиоцитах через 18–24 ч антиортостатического вывешивания экспрессия генов бета-актина и альфа-актинина-4 возрастала по сравнению с контролем, а уровень экспрессии гена, кодирующего альфа-актинин-1, снижался. Через 12 ч в мембранной фракции белков кардиомиоцитов и волокон камбаловидной мышцы снижалось содержание бета- и гамма-актина, тогда как в цитоплазматической фракции – возрастало. При этом снижалась жесткость обоих типов клеток. Далее, в ходе разгрузки, в мембранной фракции белков кардиомиоцитов содержание немышечного актина и актинсвязывающих белков возрастало, при этом увеличивалась жесткость этих клеток. Содержание данных белков в волокнах камбаловидной мышцы снижалось так же, как и клеточная жесткость. Уровень кортикостерона в сыворотке крови практически не менялся, но был незначительно повышен после 6 ч вывешивания.

Ключевые слова: микрогравитация, немышечный актин, жесткость клеток.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 4. С. 37–45.

Пребывание в условиях невесомости приводит к негативным последствиям для различных органов и тканей как у человека, так и у животных. Особенно подвержены негативному действию невесомости скелетные мышцы как специализированный орган, обеспечивающий поддержание позы и выполнение двигательных функций. Предметом многих исследований является камбаловидная мышца, для которой показано, что длительное пребывание в условиях микрогравитации приводит к существенному снижению ее массы и функциональных возможностей, атрофическим изменениям волокон [1–3]. Негативные изменения, развивающиеся в камбаловидной мышце, связывают, прежде всего, с изменением ее электрической активности. Тем не менее следует отметить, что негативные изменения развиваются не только в камбаловидной мышце, электрическая активность которой резко снижается в условиях антиортостатического вывешивания [4], но и в передней большеберцовой мышце, хотя ее электрическая активность в этих условиях растет, а также в медиальной головке икроножной мышцы, активность которой практически не меняется при вывешивании [4]. Было показано, что изменения в структуре сократительного аппарата мышечных волокон этих мышц голени коррелируют с изменением уровня электрической активности [5]. Однако структура подмембранного цитоскелета, которую оценивали, используя интегральный механический параметр – поперечную жесткость, разрушалась во всех этих мышцах [5], что может быть связано с уменьшением внешнего механического напряжения на мышцы голени в условиях антиортостатического вывешивания.

Кроме того, пребывание в условиях микрогравитации приводит к различным изменениям в сердечно-сосудистой системе у человека в первую очередь к сдвигу жидкостных объемов тела в краниальном направлении и изменению ударного объема сердца [6]. Проявления этих эффектов у грызунов при моделировании с использованием антиортостатического вывешивания не столь выражены, однако и в этом случае целый ряд исследователей отмечали

увеличение объемной нагрузки на сердце [7–9]. Предыдущие исследования показали, что уже после 72 ч антиортостатического вывешивания поперечная жесткость сократительного аппарата кардиомиоцитов левого желудочка крысы увеличивалась, при этом жесткость подмембранного цитоскелета возрастала уже через 24 ч [10]. Предполагаем, что подобные изменения в структуре кортикального цитоскелета могли быть связаны с увеличением объемной нагрузки на сердце (внешнего механического напряжения на кардиомиоциты в результате растяжения) в результате возрастания объемной нагрузки, что имеет место, по крайней мере, на ранних стадиях антиортостатического вывешивания.

Следует отметить, что структура подмембранного цитоскелета мышечных клеток (как волокон скелетных мышц, так и кардиомиоцитов) в целом сходна со структурой кортикального цитоскелета немышечных клеток, за исключением некоторых особых точек (в проекции на мембрану М-линии и Z-диска). Основным белком кортикального цитоскелета является актин (бета и гамма), формирующий стресс-фибриллы, связанные между собой различными актинсвязывающими белками. Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о том, что в немышечных клетках изменение внешних механических условий приводит к перестройкам кортикального цитоскелета [11].

Однако механизм взаимодействия клетки и внешнего механического поля до сих пор малоизучен, и совсем неясен ответ на основной вопрос: в чем принципиальная разница в реакции клетки на увеличение и уменьшение внешней механической нагрузки? Поэтому основная гипотеза исследования состояла в том, что изменения внешней механической нагрузки приводят к различным деформациям подмембранного цитоскелета и как следствие к диссоциации от него, при уменьшении и увеличении напряжения, различных белков. При этом антиортостатическое вывешивание грызунов позволяет на одном организме, *in vivo*, моделировать увеличение и уменьшение внешнего механического напряжения, причем на клетках, имеющих сходное строение: кардиомиоцитах и волокнах скелетных мышц, в частности, камбаловидной мышцы.

Методика

Материалом исследования служили образцы ткани левого желудочка сердца и камбаловидной мышцы крысы породы Вистар массой 225–255 г. С целью моделирования условий гравитационной разгрузки у грызунов проводили антиортостатическое вывешивание по методу Ильина – Новикова в модификации Морей-Холтон [12]. Животных контрольной группы содержали в виварных условиях, они получали стандартный корм и воду *ad libitum*.

Длительность гравитационной разгрузки составляла 6, 12, 18, 24 и 72 ч. Были сформированы следующие группы: «контроль», «6 ч», «12 ч», «18 ч», «24 ч» и «72 ч» по 7 животных в каждой.

Все процедуры с животными были одобрены Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

Определение уровня кортикостерона в сыворотке крови крыс методом иммуноферментного анализа

Уровень кортикостерона определяли в сыворотке крови с использованием иммуноферментного анализа. Кровь крыс собирали после декапитации в ЭДТА-содержащие пробирки. Сыворотку получали после центрифугирования при 3000 g в течение 10 мин и хранили при -80 °C до проведения анализа. Общий кортикостерон определяли, используя коммерческий набор (IDS GmbH, Germany), в соответствии с инструкциями производителя.

Определение поперечной жесткости методом атомной силовой микроскопии

Из части ткани левого желудочка крысы получали кардиомиоциты согласно стандартной методике [13], но без применения Triton X-100. Камбаловидную мышцу вырезали от сухожилия до сухожилия и обрабатывали согласно методике [14].

До проведения экспериментов пробы хранили при температуре -20 °C в буфере, содержащем в равных объемных долях расслабляющий раствор R (20 mM MOPS, 170 mM пропионат калия, 2,5 mM ацетата магния, 5 mM K_2EGTA , 2,5 mM АТФ) и глицерол.

В день эксперимента пробы переносили в раствор R, в котором выделяли одиночные глицеринизированные мышечные волокна и кардиомиоциты.

Для измерения поперечной жесткости выделенные волокна прикрепляли к дну жидкостной ячейки атомного силового микроскопа, фиксируя их кончики с помощью специального клея Fluka shellac wax-free (Sigma) и проводили измерения в контактном режиме при глубине продавливания 150 нм, согласно методике [15].

Обработку результатов проводили в специально разработанной для этого программе в среде MatLab 6.5.

Определение содержания белков методом гелевого электрофореза с последующим иммуноблоттингом

Для определения содержания белков часть левого желудочка сердца и камбаловидной мышцы крысы замораживали при температуре жидкого азота. Приготовление экстрактов ткани и получение мембранной, цитоплазматической и ядерной фракции белков проводили по методу, описанному в работе [16].

Денатурирующий электрофорез в полиакриламидном геле проводили по методу Лэмли на системе Bio-Rad (США). Опираясь на проведенное измерение концентрации, в каждую лунку вносили одинаковое количество белка. Перенос на нитроцеллюлозную мембрану проводили по методу работы [17].

Для определения каждого белка использовались специфические первичные моноклональные антитела на основе иммуноглобулинов мыши (Santa Cruz Biotechnology, Inc.) в рекомендованных фирмой-производителем разведениях: для бета-актина – 1:300, для гамма-актина – 1:100, для альфа-актина-1 – 1:100, для альфа-актина-4 – 1:100. В качестве вторичных антител использовали биотинилированные козы антитела против IgG мыши (Santa Cruz Biotechnology, Inc.) в разведении 1:5000.

Далее все мембраны обрабатывали раствором стрептавидина, конъюгированного с пероксидазой хрена (Sigma, Германия) в разведении 1:5000. Белковые полосы выявляли с помощью 3,3'-диаминобензидина (Merck, США).

Определение содержания мРНК методом количественной полимеразной цепной реакции

Для определения уровня экспрессии генов, кодирующих исследуемые белки, выделяли тотальную РНК из замороженных тканей левого желудочка сердца и камбаловидной мышцы крысы, используя RNeasy Micro Kit (Qiagen, Германия) согласно инструкции производителя. Обратную транскрипцию осуществляли, используя в качестве затравки d(T)₁₅ и 500 нг РНК. Для оценки уровня экспрессии исследуемых генов проводили полимеразную цепную реакцию (ПЦР) в реальном времени с использованием праймеров, подобранных с помощью программы Primer3Plus (табл. 1).

Таблица 1

Последовательность праймеров и размер продуктов			
Ген	Направление	Последовательность праймера (5'...3')	Размер продукта, п.о.
Actn1	Прямой	ggtcagcagcaacctctc	167
	Обратный	tctttctccacctctctcca	
Actn4	Прямой	accctgaacagactcccttg	168
	Обратный	gatcgacaagcctcatctc	
Actb	Прямой	gctgctgtttaccctttc	218
	Обратный	gtttgctccaaccaactgct	
Actg	Прямой	ctgggtgatctctgtgagca	184
	Обратный	tcaggagggaagaaccaga	

Статистическая обработка

Полученные в ходе экспериментов результаты статистически обрабатывали с помощью ANOVA, используя для оценки достоверности отличий между группами постхоковский t-тест с уровнем значимости $p < 0,05$. Данные представляли в виде $M \pm SE$, где M – среднее арифметическое; SE – ошибка среднего значения.

Результаты и обсуждение

Определение клеточного механосенсора является крайне трудной задачей. Механосенсорами, в частности, могут быть внеклеточный матрикс и мембранные белки, компоненты ионных каналов, структуры цитоскелета, внутриклеточные структуры. Интегрины, которые формируют связи с различными белками внеклеточного матрикса, такими, как фибронектин и витронектин, образуют первичный участок трансдукции и поэтому могут рассматриваться как механосенсор. Кроме того, тензин, альфа-актинин и филламин могут связывать интегрины и подмембранный цитоскелет, поскольку имеют домены, взаимодействующие и с интегринными, и с актином [18]. Силы, приложенные через мембраносвязанные рецепторы, в некоторых случаях приводят к деформациям ядра [19]. Однако практически все возможные механизмы первичной механотрансдукции зависят от состояния подмембранного кортикального цитоскелета, целостность структуры которого обуславливает механические свойства того или иного типа клеток и находит свое отражение в жесткости клеток.

Уровень кортикостерона у крыс после кратковременной гравитационной разгрузки

Поскольку данное исследование было проведено на животных с коротким периодом внешнего воздействия, то закономерно возникает вопрос об уровне стресса. Поэтому мы определили уровень кортикостерона в сыворотке крысы. Результаты (табл. 2) показали, что имело место незначительное повышение уровня кортикостерона на 31 % ($p < 0,1$) через 6 ч антиортостатического вывешивания. Через 12 ч разгрузки уровень кортикостерона возвращался к значениям группы «контроль» и затем не отличался от уровня контроля.

Таблица 2

Уровень кортикостерона (нг/мл) в сыворотке крови крыс после кратковременной гравитационной разгрузки

Контроль (n = 7)	6 ч (n = 7)	12 ч (n = 7)	18 ч (n = 7)	24 ч (n = 7)	72 ч (n = 7)
42 ± 7	55 ± 4*	41 ± 4	38 ± 4	40 ± 4	42 ± 5

Примечание. * – $p < 0,1$ по сравнению с группой «контроль».

Таблица 3

Поперечная жесткость (пН/нм) сарколеммы кардиомиоцитов левого желудочка и волокон камбаловидной мышцы крысы в условиях кратковременной гравитационной разгрузки

Группа	Ткань	
	Кардиомиоциты левого желудочка	Волокна камбаловидной мышцы
Контроль (n = 7)	4,39 ± 0,14	3,12 ± 0,09
6 ч (n = 7)	4,24 ± 0,18	2,93 ± 0,11
12 ч (n = 7)	2,53 ± 0,08*↓	1,38 ± 0,09*
18 ч (n = 7)	4,51 ± 0,19 ^а	1,57 ± 0,12*
24 ч (n = 7)	6,17 ± 0,17* ^а	1,31 ± 0,09*
72 ч (n = 7)	6,31 ± 0,13* ^а	0,81 ± 0,04* ^а

Примечание. * – $p < 0,05$ по сравнению с группой «контроль»; ^а – $p < 0,05$ по сравнению с группой «12 ч»

Полученные данные свидетельствуют о том, что подобное воздействие, практически не вызывает стресса у животных, что вполне согласуется с данными литературы, полученными при более длительных воздействиях [20]. Незначительное повышение уровня кортикостерона, наблюдавшееся после 6 ч антиортостатического вывешивания, связано, по-видимому, не с пребыванием животных в нехарактерном для них положении, а с контактом с экспериментатором.

Динамика поперечной жесткости сарколеммы кардиомиоцитов левого желудочка сердца и волокон камбаловидной мышцы крысы в условиях кратковременной гравитационной разгрузки

Кардиомиоциты. Поперечная жесткость кардиомиоцитов левого желудочка крысы через 6 ч антиортостатического вывешивания не отличалась от показателей контрольной группы (табл. 3). Через 12 ч жесткость снижалась на 42 % ($p < 0,05$), через 18 ч восстанавливалась до уровня группы «контроль», достоверно возрастая относительно группы «12 ч». Далее в ходе вывешивания поперечная жесткость кардиомиоцитов продолжала расти, превышая контрольный уровень через 24 ч на 41 % ($p < 0,05$), через 72 ч – на 44 % ($p < 0,05$).

Волокна камбаловидной мышцы. Поперечная жесткость волокон камбаловидной мышцы через 6 ч антиортостатического вывешивания не отличалась от контроля. Через 12 ч гравитационной разгрузки жесткость снижалась на 56 % ($p < 0,05$) относительно группы «контроль» и продолжала уменьшаться, снижаясь через 72 ч на 74 % ($p < 0,05$) относительно уровня контроля и на 41 % ($p < 0,05$) относительно группы «12 ч».

Таким образом, и у кардиомиоцитов, и у волокон камбаловидной мышцы через 12 ч наблюдалось резкое падение поперечной жесткости, при этом впоследствии жесткость кардиомиоцитов возрастала, превышая уровень контроля, а волокна камбаловидной мышцы еще больше снижались.

Динамика содержания цитоскелетных белков в кардиомиоцитах левого желудочка сердца и волокнах камбаловидной мышцы крысы в условиях кратковременной гравитационной разгрузки

Кардиомиоциты. Содержание альфа-актина-1 в мембранной фракции белков левого желудочка крысы снижалось через 6 ч антиортостатического вывешивания на 49,6 % ($p < 0,05$), при этом в цитоплазматической фракции возрастало на 56,4 % ($p < 0,05$) относительно контроля (рис. 1, А). Через 12 ч вывешивания в мембранной фракции содержание альфа-актина-1 снизилось на 76,9 % ($p < 0,05$) по сравнению с контролем, но и в цитоплазматической фракции также упало на 17,7 % ($p < 0,05$) относительно контроля. Далее в мембранной фракции содержание альфа-актина-1 начало расти и к 72 ч антиортостатического вывешивания превышало уровень контроля на 56 % ($p < 0,05$). В цитоплазматической фракции белков через 72 ч антиортостатического вывешивания содержание альфа-актина-1 было снижено на 22,9 % ($p < 0,05$) относительно контроля.

Содержание альфа-актина-4 в мембранной и цитоплазматической фракциях белков левого желудочка крысы оставалось неизменным вплоть до 24 ч антиортостатического вывешивания (рис. 1, Б). Через 24 ч оно возрастало на 79 % ($p < 0,05$) в мембранной фракции и на 46,7 % ($p < 0,05$) в цитоплазматической фракции относительно уровня контроля в каждой из фракций. Через 72 ч содержание альфа-актина-4 в мембранной фракции превышало уровень контроля на 198,8 % ($p < 0,05$), а в цитоплазматической фракции на 35,3 % ($p < 0,05$). Относительное содержание бета-актина в мембранной фракции белков левого желудочка крысы достоверно снижалось через 12 ч антиортостатического вывешивания на 17,2 % ($p < 0,05$), а в цитоплазматической фракции возрастало на 23,8 % ($p < 0,05$) (рис. 1, В). Однако через 18 ч в мембранной фракции его содержание восстанавливалось до уровня контроля, а через 24 и 72 ч превышало его. В то же время содержание бета-актина в цитоплазматической фракции через 18 ч снижалось до уровня контроля и далее в ходе вывешивания от него не отличалось.

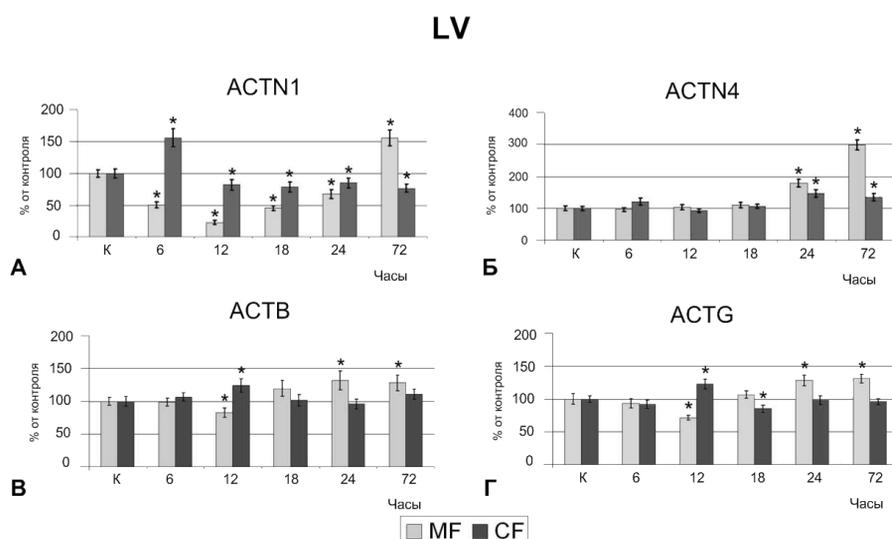


Рис. 1. Относительное содержание белка в мембранной белковой фракции (MF) и цитоплазматической белковой фракции (CF) кардиомиоцитов левого желудочка (LV) крысы после кратковременной гравитационной разгрузки и типичные картины вестерн-блота.

Здесь и на рис. 2: * – $p < 0,05$ по сравнению с группой «контроль», обозначенной как «К» на этом рисунке; & – $p < 0,1$ по сравнению с группой «12 ч»; А – альфа-актинин-1 (ACTN1); Б – альфа-актинин-4 (ACTN4); В – бета-актин (ACTB); Г – гамма-актин (ACTG)

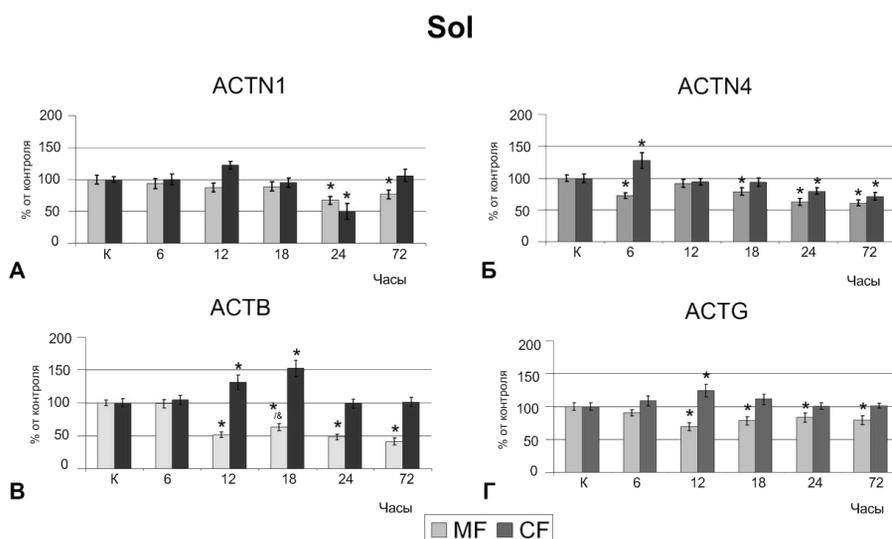


Рис. 2. Относительное содержание белка в мембранной белковой фракции (MF) и цитоплазматической белковой фракции (CF) волокон камбаловидной мышцы (Sol) крысы после кратковременной гравитационной разгрузки и типичные картины вестерн-блота

Волокна камбаловидной мышцы. Изменение содержания альфа-актинина-1 в мембранной фракции белков камбаловидной мышцы крысы отмечалось только через 24 ч антиортостатического вывешивания, снижаясь на 32,7 % относительно уровня

контроля ($p < 0,05$) (рис. 2, А). При этом в цитоплазматической фракции его содержание упало на 49,7 % ($p < 0,05$). Однако к 72 ч вывешивания содержание альфа-актинина-1 в цитоплазматической фракции белков камбаловидной мышцы выросло до уровня контроля, оставаясь сниженным на 23,1 % ($p < 0,05$) относительно контроля в мембранной фракции.

В то же время в мембранной фракции белков камбаловидной мышцы снижение содержания альфа-актинина-4 отмечалось через 6 ч антиортостатического вывешивания на 27,4 % ($p < 0,05$), при этом оно возрастало в цитоплазматической фракции на 28,2 % ($p < 0,05$) (рис. 2, Б). Через 12 ч вывешивания содержание альфа-актинина-4 в мембранной и цитоплазматической фракциях белков камбаловидной мышцы крысы не отличалось от уровня контроля. Через 18 ч начиналось снижение относительного содержания альфа-актинина-4 в обеих фракциях, и к 72 ч вывешивания в мембранной фракции его содержание было снижено на 38,7 % ($p < 0,05$), а в цитоплазматической – на 28,7 % ($p < 0,05$) относительно контроля.

Относительное содержание бета-актина в мембранной фракции белков камбаловидной мышцы крысы также снижалось через 12 ч вывешивания на 48,6 % ($p < 0,05$), возрастая при этом в цитоплазматической фракции на 31,3 % ($p < 0,05$) (рис. 2, В). Через 18 ч в мембранной фракции имело место увеличение содержания бета-актина на 11,7 % ($p < 0,1$) относительно его содержания после 12 ч. Однако далее в ходе вывешивания содержание бета-актина в мембранной фракции падало и составляло 41,3 % от контрольного уровня через 72 ч, причем в цитоплазматической фракции его содержание относительно контроля не отличалось.

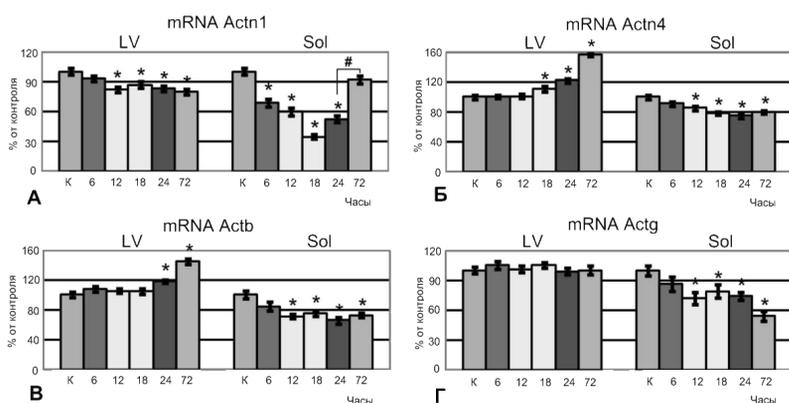


Рис. 3. Уровень экспрессии генов, кодирующих структурные белки кортикального цитоскелета, в кардиомиоцитах левого желудочка (LV) и волокнах камбаловидной мышцы (Sol) крысы после кратковременной гравитационной разгрузки.

* – $p < 0,05$ по сравнению с группой «контроль», обозначенной как «К» на этом рисунке; # – $p < 0,05$ по сравнению с группой «24 ч»; А – ген альфа-актина-1 (Actn1); Б – ген альфа-актина-4 (Actn4); В – ген бета-актина (Actb); Г – ген гамма-актина (Actg)

Относительное содержание бета-актина в мембранной фракции белков камбаловидной мышцы крысы также снижалось через 12 ч вывешивания на 48,6 % ($p < 0,05$), возрастая при этом в цитоплазматической фракции на 31,3 % ($p < 0,05$) (рис. 2, В). Через 18 ч в мембранной фракции имело место увеличение содержания бета-актина на 11,7 % ($p < 0,1$) относительно его содержания после 12 ч. Однако далее в ходе вывешивания содержание бета-актина в мембранной фракции падало и составляло 41,3 % от контрольного уровня через 72 ч, причем в цитоплазматической фракции его содержание относительно контроля не отличалось.

Содержание гамма-актина в мембранной и цитоплазматической фракции белков левого желудочка и камбаловидной мышцы крысы демонстрирует аналогичную содержанию бета-актина динамику в соответствующих тканях и фракциях белков, хотя относительное содержание гамма-актина в исследуемых тканях существенно меньше, нежели бета-актина (рис. 1, Г, рис. 2, Г).

Изменение жесткости кортикального цитоскелета для мышечных клеток, возможно, не играет принципиальной функциональной роли само по себе ввиду незначительности его вклада в механические характеристики этих клеток, определяемые в основном сократительным аппаратом.

Однако изменение жесткости кортикального цитоскелета может запускать целый ряд сигнальных процессов. Показано, что конденсация кортикального актина под плазматической мембраной в результате действия ингибитора фосфатаз каликулина А подавляет депо-зависимый вход кальция в гладкомышечных клетках в культуре [21], так же,

как и цитохалазин D [22]. Согласно имеющимся данным литературы, относительно реакции клеток скелетных мышц на гравитационную разгрузку, одним из первых событий является накопление ионов кальция, показанное в волокнах камбаловидной мышцы уже через 2 сут антиортостатического вывешивания задних конечностей у мышей [23], хотя механизмы этого накопления до сих пор остаются неясными.

Динамика содержания мРНК цитоскелетных белков в кардиомиоцитах левого желудочка сердца и волокнах камбаловидной мышцы крысы в условиях кратковременной гравитационной разгрузки

Кардиомиоциты. Содержание мРНК альфа-актина-1 (рис. 3, А) в кардиомиоцитах левого желудочка крысы снизилось на 20 % ($p < 0,05$) через 12 ч антиортостатического вывешивания и оставалось на том же уровне вплоть до 72 ч разгрузки. Содержание мРНК альфа-актина-4 (рис. 3, Б) в кардиомиоцитах увеличивалось по сравнению с контролем через 18 ч антиортостатического вывешивания и продолжало расти вплоть до 72 ч, превышая уровень контроля на 57 % ($p < 0,05$). Содержание мРНК бета-актина в кардиомиоцитах (рис. 3, В) левого желудочка крысы возрастало на 18 % ($p < 0,05$) по сравнению с группой «контроль» через 24 ч вывешивания и на 45 % ($p < 0,05$) – через 72 ч. Содержание мРНК гамма-актина (рис. 3, Г) в кардиомиоцитах левого желудочка крысы не менялось в ходе антиортостатического вывешивания.

Волокна камбаловидной мышцы. Через 12 ч антиортостатического вывешивания в волокнах камбаловидной мышцы (см. рис. 3, А) содержание мРНК альфа-актина-1 упало на 30 % через 6 ч и снижалось вплоть до 18 ч антиортостатического вывешивания. Однако через 24 ч оно начало расти и уже через 72 ч не отличалось от уровня контроля. Содержание мРНК альфа-актина-4 в волокнах камбаловидной мышцы (см. рис. 3, Б) снизилось по сравнению с группой «контроль» через 12 ч антиортостатического вывешивания на 22 % ($p < 0,05$) и оставалось на том же уровне в течение всего периода вывешивания. Содержание мРНК бета-актина в волокнах камбаловидной мышцы (см. рис. 3, В) снижалось через 12 ч вывешивания на 29 % ($p < 0,05$) и оставалось на этом уровне вплоть до 72 ч разгрузки. В волокнах камбаловидной мышцы содержание мРНК гамма-актина (см. рис. 3, Г) менялось аналогично содержанию мРНК бета-актина: снизилось

через 12 ч на 30 % ($p < 0,05$) и оставалось таким вплоть до 72 ч антиортостатического вывешивания.

Изменение содержания белков в клетке может быть связано с 3 возможностями: изменение уровня экспрессии соответствующего гена, изменение эффективности трансляции и изменение протеолитической активности ферментов. В случае рассмотрения различных фракций изменение содержания белков может быть также связано с перераспределением белка между различными фракциями.

Уменьшение содержания немышечных изоформ актина в мембранной фракции кардиомиоцитов после 12 ч вывешивания, по-видимому, было связано с перераспределением между фракциями: переход из мембранной фракции в цитоплазматическую. При этом содержание актина в цитоплазматической фракции увеличивалось. После 18 ч вывешивания, по-видимому, имел место обратный процесс. Стоит отметить, что экспрессия гамма-актина в кардиомиоцитах вообще не менялась в ходе антиортостатического вывешивания, а бета-актина – увеличивалась через сутки вывешивания. В то же время возрастало и содержание бета-актина в мембранной фракции кардиомиоцитов, оставаясь на уровне контроля в цитоплазматической фракции.

Изменения содержания немышечного актина в волокнах камбаловидной мышцы через 12 и 18 ч антиортостатического вывешивания были сходны, хотя снижение уровня экспрессии бета- и гамма-актина имело место уже через 12 ч. По-видимому, именно снижение экспрессии обусловило неполное восстановление содержания немышечного актина в мембранной фракции через 18 ч и как следствие лишь незначительное увеличение жесткости волокон по сравнению с таковой после 12 ч вывешивания. Далее снижение экспрессии привело к тому, что содержание бета- и гамма-актина в мембранной фракции было меньше, чем в контроле, хотя в цитоплазматической фракции от уровня контроля не отличалось.

Таким образом, на белковом уровне одним из первых событий является перераспределение немышечных изоформ актина между мембранной и цитоплазматической фракциями. Причем следует отметить, что переход актина из мембранной в цитоплазматическую фракцию может быть как в виде F-актина, с последующей диссоциацией до G-актина, так и сразу в виде G-актина. Транзиторное увеличение содержания G-актина, в свою очередь, может активировать некоторые сигнальные пути, например SRF-зависимые [31]. Однако и в случае кардиомиоцитов, и в случае волокон камбаловидной мышцы этот процесс будет одинаковым, а значит, на этапе механочувствительности не может определять принципиальную разницу в реакции клеток на растяжение или сжатие.

Актинсвязывающие белки могут быть механочувствительными молекулами и определять реакцию клеток на растяжение-сжатие

Остается неясным вопрос: что может вызывать разборку кортикального цитоскелета и последующее разрушение стресс-фибрилл с накоплением G-актина в цитоплазматической фракции через 12 ч антиортостатического вывешивания? Инициировать разборку кортикального цитоскелета может диссоциация от него белков, связывающих между собой стресс-фибриллы и фиксирующих их к мембране. Ранее была предложена гипотеза, согласно которой диссоциация актинсвязывающих белков может происходить в результате деформации кортикального цитоскелета вследствие изменения внешнего механического напряжения [24].

Поскольку кальций является одним из основных вторичных мессенджеров, то из всего разнообразия актинсвязывающих белков обратили внимание на кальций-чувствительные изоформы альфа-актина. О роли немышечных изоформ альфа-актина в клетках скелетных мышц и кардиомиоцитов известно очень мало. Так, известно, что альфа-актинин-1 экспрессируется в кардиомиоцитах [25], а также в клетках скелетных мышц, наряду с альфа-актинин-4 на разных стадиях дифференцировки [26].

Мы определили содержание альфа-актина-1 и альфа-актина-4 в мембранной и цитоплазматической фракциях в ходе всего периода антиортостатического вывешивания. В кардиомиоцитах имело место снижение содержания альфа-актина-1 в мембранной фракции (на 49,6 %) и симметричное повышение его содержания в цитоплазматической фракции (на 56,4 %) уже через 6 ч антиортостатического вывешивания. При этом содержание альфа-актина-4 в мембранной и цитоплазматической фракциях кардиомиоцитов изменилось только через 24 ч вывешивания. Через 72 ч содержание альфа-актина-1 и альфа-актина-4 в мембранной фракции было повышено по сравнению с контролем наряду с увеличением содержания немышечного актина, что может быть связано с формированием «усиленной» структуры кортикального цитоскелета в кардиомиоцитах на ранних этапах вывешивания. В то же время, в волокнах камбаловидной мышцы крысы через 6 ч регистрировали снижение альфа-актина-4 в мембранной фракции на 27,4 % и его повышение в цитоплазматической фракции на 28,2 %. Содержание альфа-актина-1 менялось через 24 ч гравитационной разгрузки.

В целом полученные результаты об изменении содержания изоформ альфа-актина и уровне экспрессии их генов согласуются с данными литературы. Известно, что увеличение относительного

содержания альфа-актинина-4 в цитоплазматической фракции ассоциировано с уменьшением в ней альфа-актинина-1 и формированием ракового паттерна фибробластов [27]. В свою очередь, раковое перерождение клеток, в частности лимфоцитов, сопровождается увеличением их жесткости, которую измеряли с помощью атомного силового микроскопа [28]. Аналогичную картину наблюдали в кардиомиоцитах при увеличении механического напряжения: в цитоплазматической фракции имело место снижение содержания альфа-актинина-1 и увеличение альфа-актинина-4, увеличение жесткости клеток. Увеличение жесткости клеток было обусловлено увеличением содержания немышечных изформ актина и альфа-актинина, которые необходимы для формирования структуры кортикального цитоскелета.

Выводы

Полагаем, что повышение внешней механической нагрузки приводит к увеличению способности клеток сопротивляться ей, т.е. к возрастанию жесткости клеток и развитию цитоскелета. Уменьшение нагрузки не требует развитого цитоскелета, и как следствие жесткость клеток снижается. Исходя из этого следует предположить, что регуляция состояния актинового цитоскелета должна играть ведущую роль в изменении скорости деления клеток, развитии патологических процессов, реакции на изменение внешних механических условий (гипо- и гипергравитация), приводя к изменению механических свойств клеток.

Полученные данные показывают, что при увеличении внешнего механического напряжения, растяжении клетки часть молекул альфа-актинина-1 диссоциирует от кортикального цитоскелета в цитоплазму, где инициирует сигнальный путь, результатом которого становится увеличение содержания немышечного актина и альфа-актинина в мембранной фракции и как следствие увеличение жесткости клеток. При уменьшении внешнего механического напряжения молекулы альфа-актинина-4 диссоциируют от кортикального цитоскелета и, возможно, мигрируют в ядро и/или запускают иной сигнальный путь, чем молекулы альфа-актинина-1. Это приводит к уменьшению синтеза немышечного актина и альфа-актинина и последующему снижению жесткости клеток.

Работа поддержана грантом РФФИ № 13-04-00755-а.

Список литературы

1. *Caiozzo V.J., Haddad F., Baker M.J. et al.* Microgravity-induced transformations of myosin isoforms and contractile properties of skeletal muscle // *J. Appl. Physiol.* 1996. V. 81. P. 123–132.
2. *Widrick J.J., Maddalozzo G.G., Hu H. et al.* Detrimental effects of reloading recovery on force, shortening velocity, and power of soleus muscles from hindlimb-unloaded rats // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2008. V. 295(5). P. R1585–1592.
3. *McDonald K.S., Fitts R.H.* Effect of hindlimb unloading on rat soleus fiber force, stiffness, and calcium sensitivity // *J. Appl. Physiol.* 1995. V. 79. P. 1796–1802.
4. *Alford E.K., Roy R.R., Hodgson J.A., Edgerton V.R.* Electromyography of rat soleus, medial gastrocnemius and tibialis anterior during hind limb suspension // *Experim. Neurol.* 1987. V. 96. P. 635–649.
5. *Ogneva I.V.* The transversal stiffness of fibers and the desmin content in the leg muscles of rats under gravitational unloading of various duration // *J. Appl. Physiol.* 2010. V. 109. P. 1702–1709.
6. *Nixon J.V., Murray R.G., Bryant C. et al.* Early cardiovascular adaptation to simulated zero gravity // *Ibid.* 1997. V. 46. P. 541–548.
7. *Hargens A.R., Steinkai J., Johansson C., Tipton C.M.* Tissue fluid shift, forelimb loading, and tail tension in tailsuspended rats // *Physiol.* 1984. V. 27. (Suppl.). P. S37–S38.
8. *Боровик А.С., Тарасова О.С., Фигурин И.Б. и др.* Влияние двухнедельного вывешивания на динамику низкочастотных колебаний артериального давления у интактных и десимпатизированных крыс // *Авиакосм. и экол. мед.* 2003. Т. 37. № 6. С. 45–50.
9. *Borovik A.S., Tarasova O.S., Figurina I.B. et al.* Effects of two-week suspension on the dynamics of low-frequency arterial pressure fluctuations in intact and desympathetized rats // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* V. 37. № 6. P. 45–50.
10. *McDonald K.S., Delp M.D., Fitts R.H.* Effect of hindlimb unweighting on tissue blood flow in the rat // *J. Appl. Physiol.* 1992. V. 72. P. 2210–2218.
11. *Ogneva I.V., Mirzoev T.M., Biryukov N.S. et al.* Structure and functional characteristics of rat's left ventricle cardiomyocytes under antiorthostatic suspension of various duration and subsequent reloading // *J. Biomed. Biotechnol.* 2012. V. 2012 (Article ID 659869). 11 p.
12. *Buravkova L.B., Romanov Ya.A.* The role of cytoskeleton in cell changes under condition of simulated microgravity // *Acta Astronaut.* 2001. V. 48. P. 5–12.
13. *Morey-Holton E., Globus R.K., Kaplansky A., Durnova G.* The hindlimb unloading rat model: literature overview, technique update and comparison with space flight data // *Adv. Space. Biol. Med.* 2005. V. 10. P. 7–40.
14. *Lieber S.C., Aubry N., Pain J. et al.* Aging increases stiffness of cardiac myocytes measured by atomic force microscopy nanoindentation // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2004. V. 287. P. H645–H651.

14. Stevens L., Holy X., Mounier Y. Functional adaptation of different rat skeletal muscles to weightlessness // *Am. J. Physiol.* 1993. V. 264(4 Pt 2). P. 770–776.

15. Ogneva I.V., Lebedev D.V., Shenkman B.S. Transversal stiffness and Young's modulus of single fibers from rat soleus muscle probed by atomic force microscopy // *Biophys. J.* 2010. V. 98. № 3. P. 418–424.

16. Vitorino R., Ferreira R., Neuparth M. et al. Subcellular proteomics of mice gastrocnemius and soleus muscles // *Anal. Biochem.* 2007. V. 366. № 2. P. 156–169.

17. Towbin H., Staehlin T., Gordon J. Electrophoretic transfer of proteins from polyacrylamide gels to nitrocellulose sheets: procedure and some application // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1970. V. 76. P. 4350–4354.

18. Liu S., Calderwood D.A., Ginsberg M.H. Integrin cytoplasmic domain-binding proteins // *J. Cell Sci.* 2004. V. 113. P. 3563–3571.

19. Maniotis A.J., Chen C.S., Ingber D.E. Demonstration of mechanical connections between integrins, cytoskeletal filaments and nucleoplasm that stabilize nuclear structure // *PNAS.* 1997. V. 94. P. 849–854.

20. Bigbee A.J., Grindeland R.E., Roy R.R. et al. Basal and evoked levels of bioassayable growth hormone are altered by hindlimb unloading // *J. Appl. Physiol.* 2010. V. 100. P. 1037–1042.

21. Ma T.H., Patterson R.L., van Rossum D.B. et al. Requirement of the inositol trisphosphate receptor for activation of store-operated Ca^{2+} channels // *Science.* 2000. V. 287. P. 1647–1651.

22. Holda J.R., Blatter L.A. Capacitative calcium entry is inhibited in vascular endothelial cells by disruption of cytoskeletal microfilaments // *FEBS Lett.* 1997. V. 403. P. 191–196.

23. Ingalls C.P., Warren G.L., Armstrong R.B. Intracellular Ca^{2+} transients in mouse soleus muscle after hindlimb unloading // *J. Appl. Physiol.* 1999. V. 87. № 1. P. 386–390.

24. Ogneva I.V. Cell mechanosensitivity: mechanical properties and interaction with gravitational field // *BioMed. Research International.* 2013. V. 2013 (Article ID 598461). 17 p.

25. Velez C., Aranega A.E., Prados J.C. et al. Basic fibroblast and platelet-derived growth factors as modulators of actin and alpha-actinin in chick myocardiocytes during development // *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 1995. V. 210. P. 57–63.

26. Goffart S., Franko A., Clemen Ch.S., Wiesner R.J. a-Actinin 4 and BAT1 interaction with the Cytochrome c promoter upon skeletal muscle differentiation // *Curr. Genet.* 2006. V. 49. P. 125–135.

27. Honda K., Yamada T., Endo R. et al. Actinin-4, a novel actin-binding protein associated with cell motility and cancer invasion // *J. Cell Biol.* 1998. V. 140. № 6. P. 1383–1393.

28. Cai X., Cai J., Dong S. et al. Morphology and mechanical properties of normal lymphocyte and Jurkat revealed by atomic force microscopy // *Sheng Wu Gong Cheng Xue Bao.* 2009. V. 25. № 7. P. 1107–1112.

STRUCTURE OF THE CORTICAL CYTOSKELETON OF THE LEFT CARDIAC VENTRICLE HYSTIOCYTES AND OF SOLEUS MUSCLE FIBERS IN RATS FOLLOWING SHORT-TIME SUSPENSION

Ogneva I.V., Biryukov N.S., Leinsoo T.A., Larina I.M.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 4. P.

Purpose of the investigation was to examine structural rearrangements in the cortical cytoskeleton as a result of changes in external mechanic conditions. Objects of the investigation were Wistar rat's m. soleus fibers and left ventricle hystiocytes. Suspension for 6, 12, 18, 24 and 72 hours was performed according to the Ilyin – Novikov procedure modified by Morey-Holton. Cell stiffness, non-muscle actin and actin-binding proteins in the protein membrane and cytoplasmic fractions, and respective gene expression were evaluated. In addition, corticosterone levels were measured in blood serum.

After 6 hours of suspension, actin-binding proteins went down in the membrane fraction, i.e. alpha-actinin-1 decreased in hystiocytes and alpha-actinin-4 in m. soleus fibers. On the contrary, their content in the cytoplasmic fraction increased. Expression of genes coding beta- and gamma-actin, alpha-actinin-1 and alpha-actinin-4 in m. soleus fibers showed a decrease. However, the apha-actinin-1 gene regained its baseline expression rate in 72 hours. Following 18 to 24 hours of suspension, expression of the beta-actin and alpha-actinin-4 genes in hystiocytes grew in comparison with baseline values, while expression of alpha-actinin-1 gene decreased. After 12 hours of suspension, beta- and gamma-actin levels were reduced in membrane proteins and increased in cytoplasmic proteins in hystiocytes and m. soleus fibers. Stiffness showed a decline in each type of cell. Further into suspension, membrane proteins of hystiocytes increased levels of non-muscle actin and actin-binding proteins, and stiffness of these cells. Levels of these proteins decreased in m. soleus fibers, as also did cell stiffness. Serum corticosterone hardly altered but was slightly increased after 6 hours of suspension.

Key words: microgravity, non-muscle actin, cell stiffness.

Поступила 17.04.2014

УДК 579.65

«БИОН-М1». ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ В УСЛОВИЯХ 30-СУТОЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Воейкова Т.А.¹, Тяглов Б.В.¹, Новикова Л.М.¹, Крестьянова И.Н.¹, Емельянова Л.К.¹, Коршунов Д.В.², Морозова Ю.А.², Ильин В.К.²

¹Институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов, Москва

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

E-mail: voeikova.tatyana@yandex.ru

Установлено, что факторы космического полета (ФКП) влияют на обмен хромосомной ДНК при скрещивании штаммов *Streptomyces*. Выявлена полярность скрещивания и преимущественный вклад фрагмента хромосомы одного из родительских штаммов в рекомбинантное потомство, что указывает на более длительный контакт клеток в условиях микрогравитации и более широкий горизонтальный перенос наследственного материала. Показано отсутствие влияния ФКП на частоту рекомбинации и уровень мутационного процесса на модели реверсии ауксотрофных маркеров родительских штаммов к прототрофности. Продемонстрировано, что ФКП повышают выход фага фС31 из клеток *S. lividans* 66 (фС31), но не влияют на уровень индукции этого фага у *S. coelicolor* АЗ(2) (фС31). Показано, что ФКП снижают уровень синтеза антибиотика актинородина у лизогенного штамма *S. coelicolor* АЗ(2), а также тилозина и дезмикозина у *S. fradiae*. Установлено, что уровень выживаемости электрогенной бактерии *Shewanella oneidensis* MR-1 в условиях космического полета выше, чем в синхронном эксперименте. Уровень редуцирующей активности клеток *S. oneidensis* MR-1, отражающий эффективность генерации электронов, идентичен у полетных и лабораторных образцов.

Ключевые слова: микроорганизмы, процессы жизнедеятельности, род *Streptomyces*, *Shewanella oneidensis* MR-1, факторы космического полета.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 4. С. 46–52.

Факторы космического полета (ФКП), такие, как измененное электромагнитное поле, микрогравитация и как следствие отсутствие седиментационного потенциала и тепловой конвекции, повышенная радиация, вибрация и другие механические воздействия, влияют на процессы жизнедеятельности микроорганизмов, находящихся внутри космического корабля. Изменения могут затрагивать уровень выживаемости штаммов [1] и скорость роста бактериальных культур [2], метаболизм и физическое состояние биологических молекул [3], эффективность обмена генетическим материалом [4]. Было

выявлено воздействие ФКП, клиноротации и центрифугирования на эффективность утилизации субстратов у *E. coli* [5]. В модельных системах, имитирующих условия длительного космического полета (КП), были показаны изменение экспрессии генов рекомбинантных белков у генетически модифицированных штаммов-продуцентов альфа-интерферона человека [6], а также более высокая эффективность конъюгационного переноса хромосомных и плазмидных ДНК в штаммах *E. coli*, подтвержденная и в орбитальных экспериментах [7]. В КП на непилотируемых аппаратах серии «Фотон-М1–М3» на микроорганизмах различных видов было показано отсутствие повышения уровня мутагенеза по признакам устойчивости к различным антибиотикам у бацилл и стрептомицетов. Однако у этих же штаммов были выявлены изменения в антибиотической активности и морфогенезе. Как правило, уровень продукции антибиотиков у штаммов снижался на 30–50 %, однако восстанавливался при пересевах культур в условиях лаборатории, что указывает на обратимое изменение экспрессии данной группы генов. Изменения в морфогенезе у стрептомицетов приводили к появлению с более высокой частотой атипичных по форме и размеру колоний, часто со сниженным уровнем спорообразования. Показано, что уровень выживаемости клеток у энтеробактерий в полетных образцах на 20–30 % выше, чем в наземных экспериментах [8]. Интересен факт более эффективной гетерологичной передачи плазмид из клеток энтеробактерий в стрептомицеты [9]. Результаты, полученные в эксперименте «Биориск» при экспонировании микроорганизмов на внешней поверхности Международной космической станции, свидетельствуют о значительном влиянии ФКП на рост, репродукцию и биологические свойства бактериально-грибных ассоциаций, формирующих типовую микробиоту конструкционных материалов, используемых в космической технике [10]. Однако выяснение механизмов изменения большого числа признаков у микроорганизмов в процессе КП представляет собой очень сложную задачу. В последние

годы появляются работы по исследованию причин variability метаболизма бактерий под влиянием ФКП. Так, было показано, что увеличение вирулентности *Salmonella* в процессе КП регулируется ионным составом ростовой среды и что изменение концентрации фосфат-ионов изменяет уровень патогенности. Однако, как подчеркивают авторы этого исследования, остается неясным, каким образом микробные клетки воспринимают влияние ФКП на молекулярном и физиологическом уровнях [11]. В ряде работ продемонстрировано влияние ФКП на экспрессию регуляторных генов, что приводит к изменению большого числа признаков. Так, показано, что ФКП усиливают экспрессию генов, ответственных за функционирование глобального регулятора – белка Hfq, вследствие чего изменяется вирулентность ряда бактерий [12]. Группой авторов впервые проведен полный транскрипционный анализ штамма *Candida albicans*, выращенного в условиях КП и показано, что у штамма после полета 452 гена регулируются иначе, чем у синхронного наземного контроля. При этом происходит увеличение экспрессии генов регулятора транскрипции Car1, который ответствен за почкование, агрегацию клеток и устойчивость к окислительному стрессу, что и является причиной появления новых фенотипов. Результаты этой работы представляют важную основу для оценки риска того, какую роль может сыграть симбиотическая микрофлора в ходе полетов человека в космос [13].

Методика

Штаммы. Всероссийской коллекцией промышленных микроорганизмов (ВКПМ) были предоставлены штаммы рода *Streptomyces*: № Ac-236 *S. coelicolor* A3(2) NF (SCP1) proA1 uraA1 adeA3 cysD18 argA1. № Ac-26 *S. coelicolor* A3(2) NF (SCP1) hisA1 strA1. Штаммы *S. lividans* 66 (фC31) и *S. coelicolor* A3(2) (фC31), лизогенные по актинофагу фC31. Штамм *S. lividans* 66, чувствительный к актинофагу, для оценки уровня индукции фага из клеток. Штамм *S. fradiae* – продуцент антибиотика тилозина. Штамм электрогенной бактерии *Shewanella oneidensis* MR-1.

Среды и культивирование микроорганизмов. Штаммы рода *Streptomyces* выращивали на агаризованной среде TSB (Trypton Soya Broth, Sigma). Штамм *S. oneidensis* MR-1 выращивали на жидких и агаризованных средах TSB, LB (Luria Broth) и ML [14]. Анализ генотипов рекомбинантного потомства при скрещивании штаммов стрептомицетов проводили на среде MM с добавлением необходимых аминокислот и оснований [15]. Штамм-продуцент тилозина *S. fradiae* выращивали на чашках Петри с агаризованной средой Чапека [16].

Штаммы рода *Streptomyces* засеивали за 7 сут перед полетом на питательные среды в условиях лаборатории ГосНИИгенетика и хранили при температуре +4 °C до передачи на борт космического аппарата «Бион-М1». Штамм *S. oneidensis* засеивали за 2 сут до полета в условиях микробиологической лаборатории на Байконуре и хранили при температуре +4 °C до передачи на борт космического аппарата, где в течение 30 сут полета все штаммы находились в аппаратуре «Биоконт-Б» при температуре окружающей среды. Синхронный эксперимент проходил при тех же температурных режимах и длительности культивирования штаммов, что и полетный эксперимент. В лабораторном контроле штаммы культивировали при температуре +30 °C, в течение 10 сут для штаммов рода *Streptomyces* и 2 сут для штамма *S. oneidensis*.

Скрещивание стрептомицетов и анализ генотипов рекомбинантного потомства проводили в соответствии с протоколом [15].

Оценка коэффициента спонтанной индукции по уровню свободного фага. Коэффициент спонтанной индукции (КСИ) фага фC31, присутствующего в лизогенных культурах стрептомицетов, оценивали с использованием чувствительной к фагу нелизогенной культуры *S. lividans* 66 по методике двуслойного титрования фага [15].

Анализ уровня синтеза и компонентного состава тилозина. Для выделения тилозина и его дополнительной фракции дезмикозина была использована схема экстрагирования антибиотиков из агаризованной среды, переведенной в жидкую фазу, с последующим извлечением с помощью бутилацетата. Анализ антибиотиков проводили методом тонкослойной хроматографии [16].

Результаты и обсуждение

В эксперименте «Рекомбинация» изучали влияние ФКП на процессы обмена хромосомными ДНК при скрещивании микроорганизмов рода *Streptomyces*. Процессы обмена генетическим материалом между различными штаммами микроорганизмов – это сложные многоэтапные процессы, реализация которых в значительной степени зависит от условий внешней среды. ФКП могут вызывать изменения в этих процессах, что будет проявляться в новых характеристиках скрещивания. В эксперименте «Рекомбинация» родительские штаммы содержали плазмиду SCP1 в интегрированном в хромосому состоянии. Такие штаммы обозначают как NF (Normal Fertility). Плазида SCP1 обеспечивает донорные свойства и эффективный перенос хромосомных маркеров при скрещивании штаммов. Скрещивание штаммов NF x NF характеризуется отсутствием асимметрии зигот и полярности, т.е. каждый из родительских штаммов может быть

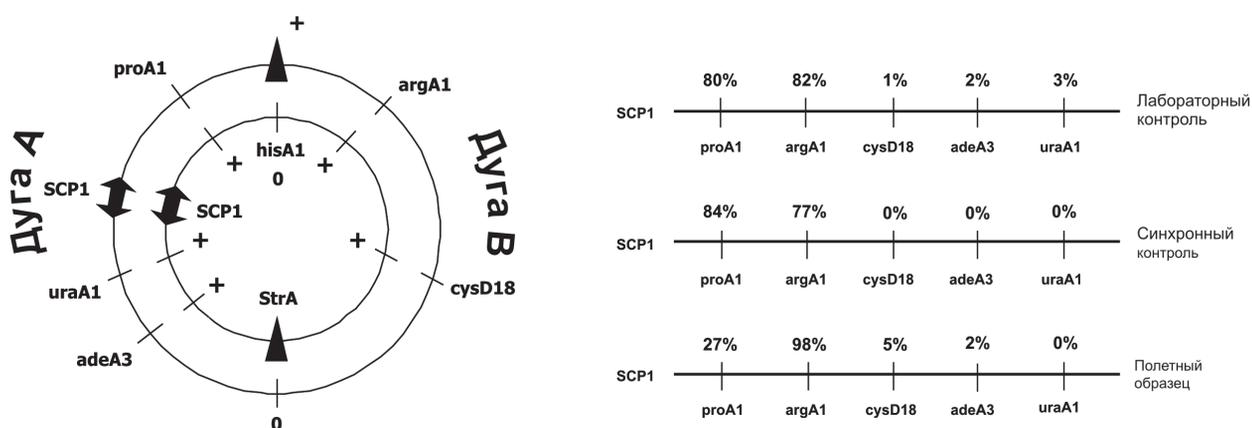


Рис. 1. Схемы скрещивания родительских штаммов:
 А – полиауксотрофных *S. coelicolor* A3(2), селективные маркеры hisA1 StrA1. Внешнее кольцо – хромосома штамма № 236. Внутреннее кольцо – хромосома штамма № 26.
 Б – частота передачи генетических маркеров в рекомбинантное потомство при скрещивании штаммов *S. coelicolor* A3(2).
 Обозначение ауксотрофных и селективных маркеров: proA1- пролин; argA1 – аргинин; cysD18 – цистеин; adeA1 – аденин; uraA1 – урацил; hisA1 – гистидин; Str – стрептомицин

как донором, так и реципиентом, и передача генетических маркеров родительских штаммов в рекомбинанты осуществляется с равной вероятностью. В случае отбора рекомбинантов по селективным маркерам может происходить преимущественный вклад определенных фрагментов родительских ДНК в генотипы рекомбинантного потомства.

В данной работе скрещивали полиауксотрофные штаммы *S. coelicolor* A3(2) № Ac-236 NF proA1 uraA1 adeA3 cysD18 argA1 и *S. coelicolor* A3(2) № Ac-26 NF hisA1 strA1. Анализ генотипов рекомбинантного потомства рекомбинантов и частоту передачи хромосомных маркеров между родительскими штаммами проводили с использованием селективных маркеров hisA1strA1. Кроме того, анализировали уровень споруляции, уровень мутагенеза на модели реверсии ауксотрофных маркеров родительских штаммов к прототрофности, частоту образования рекомбинантов.

Показано, что уровень споруляции штаммов практически одинаков во всех образцах и составляет $1-3 \times 10^8$ кл/мл. Уровень мутагенеза на модели реверсии ауксотрофных маркеров к прототрофности практически не различался в условиях полета и наземных контролях и составлял $1-3 \times 10^{-7}$ для маркеров proA1, uraA1, argA1, и $1-2 \times 10^{-6}$ для adeA3, cysD18, что соответствует стандартному уровню реверсии по данным маркерам. Показано, что частота возникновения рекомбинантов при селективных маркерах hisA1strA1 во всех видах скрещиваний была практически одинакова и составляла $1-4 \times 10^{-3}$, что является типичным для скрещивания NF x NF. Таким образом, показано отсутствие влияния ФКП на частоту рекомбинации и уровень мутационного процесса на модели реверсии ауксотрофных маркеров к прототрофности.

Однако были обнаружены отклонение частоты вхождения ауксотрофных маркеров в рекомбинантное потомство и асимметрия скрещивания у полетного варианта по сравнению с наземными контролями. На рис. 1 представлены схемы скрещивания родительских штаммов с указанием расположения ауксотрофных и селективных маркеров и частоты вхождения маркеров родительских штаммов в рекомбинанты в полетных и наземных образцах. Как видно из рис. 1, в полетном образце частота вхождения маркера proA1 снизилась более чем в 3 раза, а маркера argA1 увеличилась в 1,3 раза. Маркер cysD18 отсутствует в рекомбинантах в синхронном контроле, но с частотой 5% присутствует в рекомбинантах из полетного образца. Это указывает на преимущественный вклад фрагмента хромосомы одного из родителей, а именно штамма Ac-236, в генотипы рекомбинантов из полетного образца, т.е. выявляется полярность скрещивания. Этот штамм с большей частотой проявлял функции донора, что привело к преимущественному включению в рекомбинанты фрагмента «Дуги В» этого штамма с маркерами argA1 cysD18 (см. рис. 1). Механизм подобной асимметрии скрещивания не совсем понятен. Можно предположить, что такая ситуация может возникать при более длительном контакте между конъюгирующими гифами и более полном переносе хромосомы одного из родителей в клетки другого. Причиной этого может быть состояние микрогравитации, при котором уменьшается напряжение между конъюгирующими гифами и реже происходит разрыв конъюгационных мостиков. Ранее были получены аналогичные данные при скрещивании штаммов NF и UF (Ultra Fertility) типов [4]. Подобная особенность передачи генетического материала в

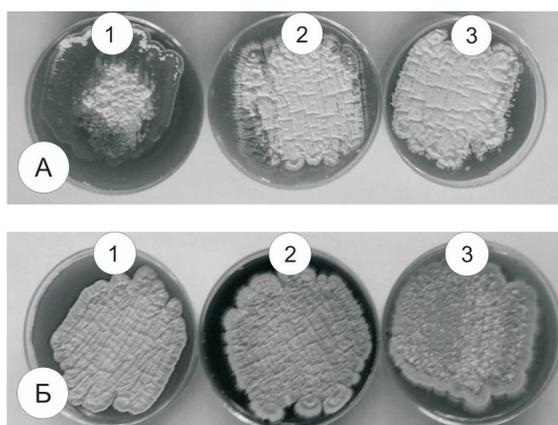


Рис. 2. А – чашки Петри с лизогенной культурой *S. lividans* 66 (фС31): 1 – полетный образец; 2 – синхронный образец; 3 – лабораторный образец.

Б – чашки Петри с лизогенной культурой *S. coelicolor* А3(2) (фС31): 1 – полетный образец; 2 – синхронный образец; 3 – лабораторный образец

условиях микрогравитации может способствовать более широкому горизонтальному переносу и распространению хромосомных и плазмидных ДНК среди симбиотической микрофлоры космонавтов и других штаммов, присутствующих в космических кораблях.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о влиянии ФКП на обмен хромосомной ДНК при скрещивании штаммов *Streptomyces*. Выявлена полярность скрещивания и преимущественный вклад фрагмента хромосомы одного из родительских штаммов в рекомбинантное потомство.

В эксперименте «Лизогения» изучали влияние ФКП на уровень спонтанной индукции актинофага фС31 у лизогенных стрептомицетов – *S. lividans* 66 (фС31) и *S. coelicolor* А3(2) (фС31). Известно, что при определенных условиях, например во время облучения бактерий, физических и химических стрессах, фаг из неинфекционной формы, профага, может перейти в свою активную форму, которая способна воспроизводить сама себя и которая в конечном итоге разрушает бактериальную клетку. Спонтанную индукцию фага из клеток оценивают по уровню свободного фага, присутствующего в лизогенной культуре, и обозначают как коэффициент спонтанной индукции (КСИ). Установлено, что у лизогенных культур *S. coelicolor* А3(2) КСИ составляет $10^2 - 10^3$ фаговых частиц/мл (ф.ч./мл.), а у штамма *S. lividans* 66 – $10^4 - 10^5$ ф.ч./мл. Лизогенное состояние штамма *S. coelicolor* А3(2) отличается стабильностью. У колоний, полученных при расसेве культуры, сохраняется иммунитет к фагу, способность продуцировать фаг, не возникают «излеченные» от профага чувствительные варианты. Штамм *S. lividans* 66, напротив, неста-

билен и актинофаг легко выходит из клетки, при этом образуются «излеченные», чувствительные к фагу варианты. В данной работе проведен сравнительный анализ КСИ различных образцов лизогенных штаммов и морфологических признаков. На рис. 2, А представлены чашки Петри со штаммом *S. lividans* 66 (фС31). Четко видно, что на чашках с полетными культурами поверхность штамма не содержит спор и лизирована фагом, который индуцировался из клеток благодаря внешним воздействиям. В центре полетных чашек виден вторичный рост культуры, которая является лизогенной по данному фагу, и ее рост осуществляется из клеток, которые выжили при лизисе основной культуры. На чашках наземных контролей этот феномен отсутствует, значит, он не связан с длительностью культивирования чашек (синхронный эксперимент) и не типичен для лабораторного контроля. Можно предположить, что ФКП индуцировали выход фага из клеток штамма *S. lividans* 66 (фС31) и это связано с нестабильностью наследования фага в хромосоме штамма. На рис. 2, Б представлены чашки Петри со штаммом *S. coelicolor* А3(2) (фС31), где видно, что штаммы не лизированы ни в одном из образцов. Мы предполагаем, что, поскольку лизогенное состояние штамма *S. coelicolor* А3(2) (фС31) более стабильно, действие на штамм тех же ФКП не привело к индукции фага и лизису культур, как в случае со штаммом *S. lividans* 66 (фС31). Эти наблюдения подтверждены оценкой КСИ фага фС31 из образцов лизогенных культур. Показано, что КСИ фага фС31 из клеток наземных лизогенных образцов *S. lividans* 66 и *S. coelicolor* А3(2) составляет $\sim 10^4$ и 10^2 ф.ч./мл соответственно, что является стандартной величиной для этих культур. Однако в полетном образце *S. lividans* 66 выход фага повышен в 100 раз и составляет 2×10^4 ф.ч./мл, что указывает на влияние ФКП на процессы эксцизии фага из хромосомной ДНК. У штамма *S. coelicolor* А3(2) фаг фС31 наследуется более стабильно, поэтому КСИ фага одинаков в полетных и наземных образцах и составляет 102 ф.ч./мл. Таким образом, ФКП влияют на индукцию фага у *S. lividans* 66 (фС31), что указывает на возможность использования штамма в качестве биосенсора при оценке действия стрессовых условий.

В эксперименте с *S. coelicolor* А3(2) (фС31) выявлено влияние ФКП на синтез антибиотика актинородина, имеющего синюю окраску (см. рис. 2, Б). Этот антибиотик продуцируется при длительном культивировании штамма и выделяется в среду. В синхронном контроле при 30 сут роста штамма видно, что антибиотик синтезировался и окрасил среду на чашках в синий цвет. В лабораторном контроле при 10 сут роста синтез антибиотика еще не начался и цвет среды не изменен. В полетном образце при росте в течение 30 сут, синтез этого антибиотика



Рис. 3. Анализ жизнеспособности полетных и контрольных образцов штамма *S. oneidensis* MR-1 (каждый образец анализировали в 3 повторностях): 1 – полетный образец, рост на жидких средах; 2 – полетный образец, рост на агаризованных средах; 3 – синхронный образец, рост на жидких средах

снижен и среда не окрашена, что указывает на подавление биосинтеза актинородина ФКП.

В эксперименте «Метаболизм» изучали влияние ФКП на уровень синтеза антибиотика тилозина и одной из его фракций – дезмикозина у штамма *S. fradiae*. Тилозин является макролидным антибиотиком, синтезируется штаммом *S. fradiae* и состоит из 3 основных фракций с различной антибактериальной активностью – тилозина, дезмикозина и макроцина. Наиболее высокую антибактериальную активность проявляет антибиотик тилозин, действующий на грамположительные и грамотрицательные бактерии и использующийся в качестве лечебно-профилактического средства при заболеваниях сельскохозяйственных животных. В данной работе уровень синтеза тилозина и дезмикозина в лабораторном контроле составлял суммарно 7 мг/г агара, при этом соотношение тилозина и дезмикозина было 83,5 и 16,5 %, что соответствует характеристике штамма. В синхронном контроле суммарное количество антибиотиков увеличилось до 8 мг/г агара, однако снизилась доля тилозина (77,3 %) и возросла доля дезмикозина (22,7 %). Известно, что при длительном культивировании происходит конверсия основной фракции тилозина в его производные. В полетном образце суммарное содержание антибиотиков было снижено и составляло 5,6 мг/г, при этом соотношение тилозина и дезмикозина было 73,7 и 26,3 % соответственно, что аналогично синхронному контролю. Таким образом,

показано, что ФКП оказывают негативное влияние на биосинтез тилозина у штамма *S. fradiae*, снижая его примерно на 30 % по сравнению с синхронным контролем.

В эксперименте «Биоэлектричество» изучали влияние ФКП на процессы жизнедеятельности электрогенной бактерии *S. oneidensis* MR-1, модельного объекта для исследования генерации электронов и получения биоэлектричества в микробных топливных элементах (МТЭ), устройствах для получения электрической энергии с помощью микроорганизмов. Основной вопрос, который был поставлен в ходе проведения эксперимента, сохраняется ли жизнеспособность штамма в течение 30 сут инкубации в полетных образцах, поскольку предполагается создание и апробация в условиях КП МТЭ, содержащего штамм *S. oneidensis* MR-1. Для подготовки полетных образцов *S. oneidensis* MR-1 высевали на жидкие и агаризованные питательные среды LB, TSB и ML. В синхронном эксперименте для засева культур использовали только жидкие среды, поскольку известно, что жизнеспособность штамма сохраняется на агаризованных средах в лабораторных условиях не более 2 нед, после чего происходит гибель 99 % клеток культуры. После возвращения полетных образцов на Землю, а также в синхронном эксперименте рост *S. oneidensis* MR-1 был зафиксирован на всех средах. Анализ жизнеспособности клеток из этих образцов проводили в лабораторных условиях, высевая полетные и контрольные штаммы на среду LB. На рис. 3 представлены результаты эксперимента, из которых следует, что после полета жизнеспособность штамма сохранялась на всех видах сред, тогда как в синхронном эксперименте практически не было живых клеток. Таким образом, продемонстрировано, что уровень выживаемости клеток *S. oneidensis* MR-1 в условиях проведенного космического эксперимента был выше, чем в наземном синхронном эксперименте. Анализ редуцирующей активности клеток показал идентичность уровней редуцирующей активности полетных и лабораторных образцов. Ранее нами было установлено, что уровень редуцирующей активности клеток штамма коррелирует с уровнем генерации электронов [17]. Полученные данные указывают на возможность использования штамма *S. oneidensis* MR-1 в МТЭ при проведении экспериментов на борту космических аппаратов.

Выводы

Проведена оценка влияния ФКП на штаммы микроорганизмов, экспонированные внутри беспилотного космического аппарата «Бион-М1» в течение 30 сут КП.

Установлено, что ФКП влияют на обмен хромосомной ДНК при скрещивании полиауксотроф-

ных штаммов рода *Streptomyces*. Анализ генотипов рекомбинантов выявил преимущественный вклад фрагмента хромосомы одного из родительских штаммов в рекомбинантное потомство, что может указывать на более длительный контакт клеток в условиях микрогравитации и вследствие этого на более широкий горизонтальный перенос наследственного материала. Не отмечено влияния ФКП на частоту рекомбинации в скрещивании и уровень мутационного процесса на модели реверсии ауксотрофных маркеров родительских штаммов к прототрофности.

Продемонстрировано, что ФКП значительно повышают выход актинофага фС31 из клеток *Streptomyces lividans* 66, но не влияют на уровень индукции этого фага у *S. coelicolor* А3(2). Лизогенный по фагу фС31 штамм *S. lividans* 66 может быть использован в качестве биосенсора для оценки влияния стрессовых факторов на микроорганизмы.

Показано, что ФКП снижают уровень синтеза антибиотика актинородина у лизогенного штамма *S. coelicolor* А3(2), а также тилозина и дезмикозина у *S. fradiae*.

Установлено, что уровень выживаемости электрогенной бактерии *Schewanella oneidensis* MR-1 в условиях полета выше, чем в синхронном контроле, что делает этот штамм перспективным для использования в микробных топливных элементах при проведении космических экспериментов.

Список литературы

1. Olsson-Francis K., Cockell Ch.S. Experimental methods for studying microbial survival in extraterrestrial environments // J. of Microbiol. Methods. 2010. V.80. P. 1–13.
2. Kacena M., Manfredi B., Todd P. Effects of space flight and mixing on bacterial growth in low volume cultures // Microgravity Sci. Technol. 1999. V. 12. № 2. P. 74–77.
3. Воейкова Т., Тяглов Б., Новикова Л. и др. Исследование воздействия факторов космического полета на продукцию меланина штаммом *Streptomyces lividans* 66 (pIJ 702) // Аналитика. 2013. Т. 8. № 1. С. 18–23.
4. Voeikova T., Tyaglov B., Novikova L. et al. Study of the effects of space flight on the production of melanin strain of *Streptomyces lividans* 66 (pIJ 702) // Аналитика. 2013. V. 8. № 1. P. 18–23.
5. Brown R.B., Klaus D., Todd P. Effects of spaceflight, clinorotation, and centrifugation on the substrate utilization efficiency of *E. coli* // Microgravity Sci. Technol. 2002. V. XIII. № 4. P. 24–29.

6. Калинин Ю.Т., Тимофеев И.В., Палецкая Т.Ф. и др. Модельная система для изучения стабильности эукариотических генов и экспрессируемых белков в условиях длительного космического полета // Авиакосм. и экол. мед. 2000. Т. 34. № 2. С. 61–70.

Kalinin Yu.T., Timofeev I.V., Paletskaya T.F. et al. A model system for assessment of the stability of eucaryotic genes and expressed proteins in extended space flight // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2000. V. 34. № 2. P. 61–70.

7. Зеров Ю.И., Калинин Ю.Т., Оськин Б.В. и др. Передача и обмен генетического материала при бактериальной конъюгации в наземных экспериментах, имитирующих условия орбитального полета // Там же. № 5. С. 51–58.

Zerov Yu.I., Kalinin Yu.T., Oskin B.V. et al. Transmission and exchange of genetic information during bacterial conjugation in ground-based simulation of the factors of orbital flight // Ibid. № 5. P. 51–58.

8. Voeikova T.A., Tabakov V.Yu. Comparative analysis of life activity of microorganisms exposed to short-term spaceflights // J. of Gravitational Physiol. 2006. V. 13. № 1. P. 209–212.

9. Voeikova T.A., Emelyanova L.K., Tyaglov B.V. et al. Spaceflight effects on genetics and plasmids of *Streptomyces* // Ibid. 2008. V. 16. № 1. P. 171–174.

10. Баранов В.М., Поликарпов Н.А., Новикова Н.Д. и др. Основные результаты эксперимента «Биориск» на Международной космической станции // Авиакосм. и экол. мед. 2006. Т. 40. № 3. С. 3–9.

Baranov V.M., Polikarpov N.A., Novikova N.D. et al. The main results of «Biorisk» on the International Space Station // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2006. V. 40. № 3. P. 3–9.

11. Sittka A., Pfeiffer V., Tedin K., Vogel J. The RNA chaperone Hfq is essential for the virulence of *Salmonella typhimurium* // Molecular Microbiol. 2007. V. 63. № 1. P. 193–217.

12. Wilson J.W., Ott C.M., Quick L. et al. Space flight alters bacterial gene expression and virulence and reveals a role for global regulator Hfq // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2007. V. 104. P. 16299–16304.

13. Crabbe A., Nielson-Preiss S., Woolley C.M. et al. Spaceflight enhances cell aggregation and random budding in *Candida albicans* // PLOS ONE. 2013. December 4, 8(12).

14. Ильин В.К., Смирнов И.А., Солдатов П.Э. и др. Микробные топливные элементы как альтернативные источники электрического тока // Авиакосм. и экол. мед. 2012. Т. 46. №1. С. 62–67.

Ilyin V.K., Smirnov I.A., Soldatov P.E. et al. Microbial fuel cells as alternative sources of electric current // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2012. V. 46. № 1. P. 62–67.

15. Hopwood D.A., Bibb M.J., Chater K.F. et al. Genetic Manipulation of *Streptomyces* // The John Innes Foundation. 1985. P. 19–28.

16. Воейкова Т.А., Тяглов Б.В., Сизова И.А. и др. Применение количественной тонкослойной хроматографии в анализе макролидных, тетрациклиновых и пептидных антибиотиков // Хроматография на благо России / А.А.Курганов, ред. М., 2007.

Voeikova T.A., Tyaglov B.V., Sizova I.A. et al. Application of quantitative thin-layer chromatography in the analysis of macrolide, tetracycline and peptide antibiotics // Chromatography for the benefit of Russia / A.A. Kurganov, ed. Moscow, 2007.

17. Воейкова Т.А., Емельянова Л.К., Новикова Л.М. и др. Получение мутантов *Shewanella oneidensis* MR-1 устойчивых к антибиотику фосфомицину и характеризующихся повышенной редуцирующей активностью // Микробиология. 2012. Т. 82. № 3. С. 312–316.

Voeikova T.A., Emelyanova L.K., Novikova L.M. et al. Preparation of mutants *Shewanella oneidensis* MR-1 resistant to the antibiotic fosfomycin and showed higher reducing activity // Microbiologiya. 2012. V. 82. № 3. P. 312–316.

Поступила 13.05.2014

BION-M1. BIOLOGICAL ACTIVITIES OF MICROORGANISMS UNDER THE CONDITIONS OF A 30-DAY SPACE FLIGHT

Voeikova T.A., Tyaglov B.V., Novikova L.M., Krestyanova I.N., Emelyanova L.K., Korshunov V.D., Morozova Yu.A., Ilyin V.K.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 4. P. 46–52

It was stated that spaceflight factors (SFF) affect the chromosomal DNA interchange during Streptomyces crossing. Cross polarity and primary input of a parent chromosome fragment in recombinant generation imply a more lasting cells contact in microgravity and a broader horizontal transport of genetic material. SFF had no effect on recombination frequency and mutation in a model of parental auxotrophic markers reversion to prototrophism. It was demonstrated that SFF boosted the fC31 phage exit from S. lividans 66 (fC31) and did not influence phage induction in S. coelicolor A3(2) (fC31). SFF inhibited synthesis of antiobiotic actinorhodin in lisogenic S. coelicolor A3(2), and tylosin and desmicosin in S. fradiae. Survivability of electrogenic bacteria Shewanella oneidensis MR-1 in space flight was higher compared with the synchronous control experiment. The reduction activity of S. oneidensis MR-1 as an indicator of electron generation effectiveness was identical in flight and laboratory samples.

Key words: microorganisms, vital activities, g. *Streptomyces*, *Shewanella oneidensis* MR-1, spaceflight factors.

УДК 578.082

РАЗРАБОТКА ПАСТООБРАЗНОГО КОРМА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С МЫШАМИ НА БОРТУ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Медникова Е.И., Гурьева Т.С., Дадашева О.А., Сычев В.Н., Морозова Ю.А.

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

Одной из основных задач содержания животных в условиях космического полета, является разработка системы, обеспечивающей животных кормом и водой. В условиях невесомости, особенно при проведении экспериментов на борту автоматических космических аппаратов сложной задачей является обеспечение животных водой.

Для кормления лабораторных мышей в условиях космического полета (КП) был разработан пастообразный корм, основанный на стандартном экструдированном комбикорме для лабораторных крыс и мышей ПК-120, с содержанием сырого протеина 18,3 % и доведением влажности до 68 %. При разработке за основу была взята технология приготовления корма для перепелов, которая хорошо себя зарекомендовала в эксперименте со взрослыми птицами на борту орбитального комплекса «Мир». Проведена оценка разработанного корма на животных. Эксперимент проводили на белых лабораторных мышах (самцах и самках) половозрелого возраста – 37 сут. Содержание мышей в течение 21 сут на пастообразном корме без дополнительного питья не вызывало у животных каких-либо изменений живой массы тела, поедаемости и усвояемости корма, о чем свидетельствуют результаты клинического анализа крови и анализ морфологического состояния внутренних органов. Таким образом, полученные результаты по биологической оценке корма позволили использовать его в полетном и синхронном экспериментах на мышах на биоспутнике «Бион-М1».

Ключевые слова: автоматические космические аппараты, пастообразный корм, мыши, поедаемость, усвояемость.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 4. С. 53–56.

При проведении экспериментов с грызунами на борту автоматических космических аппаратов (АКА) важнейшей задачей является обеспечение животных всем необходимым для нормального существования в условиях космического полета (КП). Газовый состав атмосферы и температурный режим внутри АКА создаются и поддерживаются штатными системами жизнеобеспечения АКА на уровне земных параметров. Научная аппаратура (НА), в которой содержатся животные, как правило, не герметична по отношению к внутреннему объему АКА, поэтому НА для экспериментов с

животными не имеет собственной системы поддержания газового состава атмосферы и системы терморегуляции. Основной системой НА, предназначенной для содержания животных в условиях КП, является система обеспечения животных кормом и водой. Грызуны обладают высоким уровнем обмена веществ из-за их малых размеров и интенсивного роста и развития, поэтому корма для них должны иметь соответствующую энергетическую и питательность [1]. В условиях невесомости трудноразрешимой является задача обеспечения животных водой. При проведении экспериментов с грызунами на борту пилотируемых космических кораблей штатную работу поилки в НА с животными обеспечивает космонавт. Однако на борту АКА приходится применять автоматические поилки, которые, как показали опыты, не гарантируют водопотребление животными на протяжении всего времени их экспозиции в условиях КП.

В связи с этим в проведенных ранее полетных экспериментах с крысами на борту АКА серии «Бион» использовали корм полужидкой консистенции с содержанием воды 68–72 % и сбалансированный по белкам, жирам, углеводам, витаминам и микроэлементам [2]. Данный корм изготавливали в производственных условиях в ГНУ ВНИИКОП.

Для экспериментов с грызунами на борту АКА серии «Бион-М» в качестве объекта использовали мышей, поэтому важной задачей при подготовке этих экспериментов стала задача разработки пастообразного корма для этих животных.

Для содержания лабораторных мышей в условиях КП был предложен пастообразный корм, основанный на стандартном экструдированном комбикорме для лабораторных крыс и мышей ПК-120, с содержанием сырого протеина 18,3 % с добавлением питьевой воды. За основу создания пастообразного корма для мышей была взята технология приготовления корма для перепелов, которая хорошо себя зарекомендовала при проведении экспериментов с этими птицами на борту орбитального комплекса «Мир» [3]. Для биологической оценки корма в экспериментах с лабораторными мышами использовали приготовленный по нашей технологии пастообразный корм, имеющий влажность 68 %.

Таблица 1

Методика

Дополнительно введенные макро- и микроэлементы и витамины (на 1 кг корма)

Минеральные вещества, мг	Витамины
1. Железо – 18,0	А – 5,00 тыс. МЕ
2. Магний – 9,0	Д ₃ – 500тыс. МЕ
3. Медь – 2,4	Е – 30,00 мг
4. Цинк – 22,5	К ₃ – 0,30 мг
5. Кобальт – 0,1	В ₁ – 2,24 мг
6. Йод – 1,0	В ₂ – 1,20 мг
7. Селен – 0,2	В ₃ – 6,00 мг
	В ₆ – 2,33 мг
	В ₁₂ – 0,01 мг
	ВС – 6,00мг
	Н – 0,10 мг

Таблица 2

Состав пастообразного корма

Показатели	На 100 г сырого корма	На 100 г сухого корма
Влажность	74,6 %	
Сырой протеин	11,3 ± 0,4 %	44,5 %
Углеводы	8,8 ± 0,7 %	34,6 %
Зольность	2,4 ± 0,2 %	9,4 %
Кальций	0,58 ± 0,006 %	2,28 %
Магний	707 ± 7,0 мг	2783,4 мг
Калий	256,8 ± 25,7 мг	1011,0 мг
Цинк	0,93 ± 0,09 мг	3,66 мг
Фосфор	0,035 мг	0,14 мг
Железо	14,27 мг	56,18 мг
Витамин А	0,205 мг	0,81 мг
Витамин D	0,16 мг	0,06 мг
Витамин Е	1,18 мг	4,65 мг
Витамин В ₁	0,28 мг	1,10 мг
Витамин В ₂	0,8 мг	3,15 мг
Витамин В ₆	0,64 мг	25,2 мг
Витамин К ₃	1,42 мг	5,59 мг
Лизин, %	0,6 %	2,36 г
Метионин + цистин	0,37 %	1,46 г
Триптофан	0,07	0,28 г
Ккал		361,4

Для приготовления пастообразного корма использовали следующие компоненты (на 100 г сухого продукта):

- корм-основа (экструдированный стандартный корм) – 87,2 %;
- казеин обезжиренный – 11,6 %;
- соль-плавитель (NaHPO₄) – 0,1 %;
- сорбиновая кислота – 0,3 %,

дополнительно вводили макро- и микроэлементы (премиксы), витамины (табл. 1).

Корм сбалансирован по аминокислотному составу, минеральным веществам и витаминам.

Технология приготовления пастообразного корма в установке СВК (сиропоповарочный котел):

1. Корм-основу, предварительно измельченный, закладывали в варочную емкость с водопроводной водой (t воды +40–45 °С).

2. Термическая обработка корма-основы: варка производится в аппарате СВК в течение 5–10 мин при температуре 40–50 °С до приобретения однородной консистенции при постоянном автоматическом перемешивании.

3. Приготовление смеси казеина и соли-плавителя: за 18–20 ч до варки смесь замачивали, довели ее до кипения и смешивали с кормом-основой.

4. Варка полученной смеси в зависимости от объема приготавливаемого корма занимает до 4 ч при температуре +80–85 °С и продолжается до выпаривания воды (20–25 % от исходной, в зависимости от заданной величины влажности в получаемом пастообразном корме). В процессе варки проводили экспресс-анализ влажности продукта с помощью прибора «ЭВЛАС-2М». Окончательную влажность корма определяли в термостате при температуре +57 °С, с доведением до постоянного веса.

5. Введение дополнительных компонентов: по окончании варки в полученный корм добавляют витамины и консервант (сорбиновую кислоту).

6. Приготовленный корм автоматически насосом загружается в контейнер, предварительно обработанный 70 °-ным спиртом.

Приготовленный по указанной технологии пастообразный корм может иметь влажность 68–78 %. Анализ содержания питательных веществ в пастообразном корме был проведен в лаборатории «Биотеста» Университета прикладной биотехнологии.

В табл. 2 приведен состав пастообразного корма.

Биологическая оценка пастообразного корма. Разработанный по данной технологии пастообразный корм был неоднократно проверен в экспериментах на мышах (длительностью от 21 до 30 сут).

Эксперимент проводили на беспородных белых лабораторных половозрелых мышах (самцах и самках) в возрасте 37 сут. Отобранные по принципу аналогов, животные были поделены на 2 группы:

Клинический анализ крови мышей

Показатели	Подопытная группа		Контрольная группа	
	Самцы	Самки	Самцы	Самки
Гемоглобин, г/л	173 ± 16,8	181 ± 10,1	221 ± 11,2	242 ± 14,5
Лейкоциты, мм ³ 10 ³	9,1 ± 0,8	9,9 ± 0,7	9,7 ± 0,3	9,5 ± 0,6
Эритроциты, мм ³ 10 ⁶	8,4 ± 0,7	79 ± 0,7	8,2 ± 0,6	8,1 ± 0,4

подопытную и контрольную. В каждой группе по 10 мышей (5 самок и 5 самцов). Животных содержали в индивидуальных клетках. Подопытные грызуны питались пастообразным кормом, влажность которого составляла 68 %, контрольные – сухим кормом со свободным доступом к питьевой воде. Длительность эксперимента составила 21 сут. Кормление было одноразовое. Каждое животное в подопытной группе в сутки получало по 40 г пастообразного корма (12 г сухого), а в контрольной группе – по 12 г сухого брикетированного корма (ПК-120) и неограниченное количество воды. В течение всего эксперимента ежедневно проводили визуальный осмотр и на 1, 10, 16 и 21-е сутки эксперимента – взвешивание мышей. В обменные дни проводили учет остатков корма и сбор экскрементов. Для определения содержания влаги в остатках корма и экскрементах мышей пробы высушивали до постоянного веса при температуре +57 °С, в экскрементах животных определяли общий азот.

По окончании эксперимента у животных из хвостовой вены брали кровь на клинический анализ. Часть мышей подвергали диссекции. Эвтаназию животных проводили методом декапитации. При патолого-анатомическом исследовании внутренних органов определяли отношение веса органа к массе тела животного в %. При диссекции у мышей проводили сбор крови для определения содержания в сыворотке крови общего белка.

Все экспериментальные процедуры проводились при строгом соблюдении правил и норм биоэтики.

Результаты и обсуждение

Ежедневное наблюдение за животными обеих групп в течение эксперимента не выявило каких-либо различий в их поведении.

Динамика массы тела мышей, получавших подопытный или контрольный рацион, в течение всего эксперимента была практически одинаковой. К концу опыта прибавка в массе для подопытных мышей составила 4,5 г (самцов) и 5,6 г (самок), а для контрольных – 5,3 г (самцов) и 6,1 г (самок).

Учет потребления корма, проведенный в обменные дни, показал, что контрольные мыши съедали в

среднем в сутки 6,8 г (для самцов) и 6,3 г (для самок), процент поедаемости корма в этой группе составил 56,7 и 52,5 % соответственно. В подопытной группе потребление корма мышами было ниже и составило в пересчете на сухой вес для самцов 5,7 г, а для самок – 4,9 г, т.е. поедаемость корма в подопытной группе была 47,5 и 40,8 % от расчетных величин соответственно. Однако следует сказать, что на динамике массы тела экспериментальных животных это не отразилось, так как пастообразный корм по пищевой ценности был выше контрольного из-за введения в него обезжиренного казеина, содержащего до 90 % сырого протеина.

Усвояемость пастообразного корма животными была в пределах нормы. Об этом свидетельствовали данные по содержанию общего белка в сыворотке крови животных (у самцов подопытной группы показатель общего белка равен 6,98 ± 0,2 %, а у самок – 5,85 ± 0,4 %, в контрольной группе 6,4 ± 0,1 и 6,7 ± 0,3 % соответственно).

При использовании пастообразного корма при содержании мышей в замкнутом объеме необходимо учитывать количество и влажность выделяемых животными экскрементов. Результаты исследований показали, что в среднем в сутки мышь при кормлении пастообразным кормом выделяла 2,3 г экскрементов с влажностью от 16,7 до 23 %, а в контроле – в среднем 1,3 г экскрементов с влажностью от 8,9 до 12 %. Влажность отходов от мышей подопытной группы была в 2 раза выше, чем в контрольной. Это необходимо учитывать при создании системы утилизации экскрементов в бортовой НА для содержания мышей в условиях КП.

Анализы клинического состава крови показали, что у животных подопытной группы был снижен показатель гемоглобина, но он находился в пределах нормы (табл. 3).

Патолого-анатомическое исследование грызунов не выявило каких-либо отличий в макроструктуре внутренних органов у мышей из подопытной группы по сравнению с животными контрольной группы. Размер, цвет и консистенция органов соответствовал норме.

Проведенный эксперимент показал, что разработанный пастообразный корм по своим пищевым

качествам не уступает стандартному комбикорму для содержания мышей. Содержание мышей в течение 21 сут на опытном пастообразном корме без дополнительного питья не вызывало у животных каких-либо изменений в живой массе тела, поедаемости и усвояемости корма, о чем свидетельствуют результаты клинического анализа крови и анализ морфологического состояния внутренних органов.

Полученные результаты по биологической оценке корма позволили рекомендовать пастообразный корм в полетном и синхронном экспериментах на мышах. Адаптация подопытных мышей к пастообразному корму в течение 3 мес для эксперимента на биоспутнике «Бион-М1» подтвердила его пищевые качества [4]. Экспериментальные мыши в течение 33 сут находились на пастообразном корме в полетном и синхронном экспериментах. Пробы пастообразного корма, подготовленного к полетному эксперименту, были переданы в ГНУ ВНИКОП для определения вязкости. Вязкость корма при температуре +20 °С составила от 320 до 100 Па · с (1 Па · с = 10³ спз). Лабораторией В.К.Ильина были проведены микробиологические исследования пастообразного корма после его загрузки в контейнере для полетного эксперимента. Полученные показатели микробной обсемененности корма не превышают норм, изложенных в Сан ПиН 11-63 РБ 98 «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов». По окончании полета 29 мая 2013 г. все контейнеры с остатками корма были доставлены в институт и из всех использованных контейнеров были взяты пробы на исследование общей обсемененности корма. Результаты показали, что уровень общей микробной обсемененности контейнеров с кормом – 0 (КОЕ/мл). Полученные результаты: «уровни общей микробной обсемененности корма подтверждают стерильность корма».

Выводы

Таким образом, разработанный пастообразный корм для мышей, по всем пищевым качествам и питательной ценности и испытанный в реальных космических экспериментах может быть рекомендован для дальнейшего использования в научных исследованиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Роскосмоса проекта «Бион-М1».

Список литературы

1. Руководство по кормлению лабораторных животных, подопытной птицы и продуцентов / Н.В. Козляков, ред. М., 1968.

Manual for feeding of laboratory animals, experimental birds and producers / N.V. Kozlyakov. ed. Moscow, 1968.

2. Кондратьев Ю.И., Беседина Е.Г., Илюшко Н.А. Авторское свидетельство на изобретение № 568431 от 15.08.1977 г. «Корм для экспериментальных животных и способ его приготовления».

Kondratev Yu.I., Besedina E.G., Ilyuschenko N.A. Copyright certificate for invention. № 568431, 15.08.1977 «Forage for experimental animals and ways of its preparation».

3. Meleshko G.I., Gurieva T.S., Shepelev E.Ya. et al. Quail as a possible object of biological life-support systems of space crews // Acta Vet. Brno. 1993. № 62. P. 9–16.

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

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

Поступила 13.03.2014

DEVELOPMENT OF PASTE-TYPE FOOD FOR EXPERIMENTS WITH MICE ONBOARD UNMANNED SPACECRAFTS

Mednikova E.I., Gurieva T.S., Dadasheva O.A., Sychev V.N., Morozova Yu.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. V. 48. № 4. P. 53–56

One of the crucial issues of handling animals in space flight is availability of food and water supply systems. However, water supply for animal experiments onboard unmanned spacecrafts is a particularly formidable problem.

To maintain laboratory mice in space flight, a paste-type food was formulated on the basis of the standard extruded combined food for laboratory rodents (PK-120) with a 18.3 % wet protein content and moisture raised to 68 %. Food manufacturing technology for rodents reproduces essentially the one for quails that had shown good advantages in an experiment with adult birds aboard orbital complex Mir. The proposed food was tested with white laboratory mice (males and females) of mature 37-d age. According to the data of blood clinical analysis and visceral organs morphology investigations, feeding with the paste-type food without additional water over 21 days did not change the life weight of mice or food digestibility and availability. These biological test results gave go to feed mice in the Bion-M1 and synchronous ground experiments with the paste-type food.

Key words: unmanned spacecrafts, paste-type food, mice, digestibility, availability.

УДК 574.682 и 57.084

ИОНООБМЕННЫЙ СУБСТРАТ КАК ИСТОЧНИК МОБИЛЬНЫХ ФОРМ АЗОТА ПРИ КОНВЕЙЕРНОМ МЕТОДЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ОВОЩНЫХ РАСТЕНИЙ НА ПОЧВОПОДОБНОМ СУБСТРАТЕ

Величко В.В.^{1, 2}, Ушакова С.А.^{1, 2}, Тихомиров А.А.^{1, 2}

¹Институт биофизики Сибирского отделения РАН, г. Красноярск

²Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск

E-mail: vladimir_velitchko@hotmail.com

Цель исследования – изучение возможности использования ионообменного субстрата для поддержания содержания подвижных форм азота в ирригационном растворе и в почвоподобном субстрате (ППС) при культивировании на нем разновозрастного конвейера овощных растений. Объектами исследования служили растения редиса и листовой капусты с длительностью вегетационного периода 28 сут. Длительность эксперимента составила 120 сут. Исследования показали, что однократное внесение ионообменного субстрата в ирригационный раствор способствовало поддержанию содержания азота в ирригационном растворе подопытного варианта, что привело к получению более высоких урожаев по сравнению с контрольным вариантом.

Ключевые слова: ионообменный субстрат, почвоподобный субстрат, конвейер, биолого-техническая система жизнеобеспечения человека.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 4. С. 57–62.

Повышение замкнутости массообменных процессов в биолого-технических системах жизнеобеспечения человека (БТСЖО), включающих звено высших растений, в значительной степени зависит от возможности утилизации несъедобной растительной биомассы, количество которой может составлять до 80 % от общей массы всех образующихся внутри системы отходов [1].

За последнее время были предложены технологии возможного перерабатывания несъедобной растительной биомассы в условиях БТСЖО, одна из которых – использование почвоподобного субстрата (ППС) в качестве биологического минерализатора [2], позволяющего обеспечить возврат минеральных элементов в массообмен БТСЖО [3, 4].

В ранее опубликованных работах было показано, что при выращивании растений, потенциальных представителей звена высших растений БТСЖО, на свежеприготовленном ППС были получены урожаи, не уступающие по количеству и качеству растениям, выращенным в аналогичных условиях методом гидропоники на керамзите с использованием стандартной среды Кнопа. Но

применительно к БТСЖО растения предполагается выращивать в конвейерном режиме при многократном использовании субстрата, в который после очередной уборки урожая должна быть внесена несъедобная биомасса растений, компенсирующая вынос минеральных элементов с убранный съедобной биомассой растений. Периодическое внесение несъедобной растительной биомассы в ППС, особенно это касается внесения соломы пшеницы, приводило к снижению продуктивности растений [5]. Использование ионообменного субстрата для улучшения условий минерального питания растений показало, что промежуточные продукты биоокисления соломы пшеницы в ППС не являются основной причиной ингибирования процессов роста и развития растений. Главной причиной снижения продуктивности растений при внесении несъедобной растительной биомассы в ППС является недостаточная доступность находящихся в субстрате нутриентов. Проведенные эксперименты показали, что с помощью ионообменных субстратов можно решить проблему улучшения условий минерального питания растений, культивируемых в БТСЖО на ППС [5]. Ионообменные субстраты должны быть заправлены теми минеральными элементами, которые могут снять лимитирование процессов роста растений из-за их низкой доступности в ППС. В основном это касается азота, источником которого в условиях БТСЖО может служить моча человека после ее соответствующей переработки. При этом использование ионообменного субстрата в качестве носителя доступных форм азота имеет ряд преимуществ по сравнению с простым внесением минеральных солей в ППС или в ирригационные растворы.

Целью исследования являлось изучение возможности использования ионообменного субстрата, как источника азота, для поддержания содержания подвижных форм азота в ирригационном растворе и в почвоподобном субстрате (ППС) при культивировании на нем разновозрастного конвейера овощных растений.

Химический состав свежеприготовленного и обедненного ППС

Элемент	Свежеприготовленный, мг/г сухого ППС		Обедненный, мг/г сухого ППС		Вода, мг/л	Солома пшеницы, %
	обменный*	общий	обменный	общий		
N	2,6	24,7	0,6	23,0	0	1,10
Ca	49,7	63,0	32,0	53,0	22,1	0,53
K	9,7	10,5	5,0	7,6	0,9	1,20
Mg	4,3	5,5	2,9	5,4	3,0	0,12
S	2,7	6,0	1,9	5,0	2,3	0,14
P	4,6	6,1	3,9	7,7	2,7	0,22

Примечание. * – общая концентрация элемента в водной и слабокислой вытяжках.

Методика

Объектами исследования служили растения редиса (*Raphanus sativus* L.) сорта «Моховский» и листовой капусты (*Brassica oleraceae* L.) сорта Sensuji Kyomizuna. Выбор овощных культур обусловлен соответствием их биологических особенностей задачам эксперимента для сбалансирования пищевой ценности получаемой продукции применительно к условиям БТСЖО. Растения выращивали конвейерным способом, для чего были сформированы 2 однотипных конвейера (контрольный и экспериментальный), состоящих из 2 возрастов редиса и 2 возрастов листовой капусты. Одновозрастные одновидовые растения находились в отдельных вегетационных сосудах, помещенных в одну общую для каждого конвейера поливочную ванну. Для предотвращения затенения молодых растений более взрослыми вегетационные сосуды находились на некотором расстоянии друг от друга. Шаг конвейера между возрастными растениями был равен 14 сут, плотность посева редиса и листовой капусты – 250 растений на 1 м². Вегетационный период редиса и листовой капусты составлял 28 сут, длительность всего эксперимента была 120 сут. Растения культивировали в вегетационной камере при температуре воздуха 24 ± 1 °С и круглосуточном освещении при интенсивности ФАР 150 ± 10 Вт/м² на уровне верхних листьев. Источниками света служили металлогалогенные лампы ДМЗ-3000. Относительная влажность воздуха не превышала 70 %.

Субстратом для выращивания растений служил обедненный по доступным формам минеральных элементов ППС (табл. 1), где под «доступной» формой понимается подвижная (обменная) форма элемента, содержащаяся в почвенно-поглощающем комплексе. В каждый вегетационный сосуд помещали по 1070 г обедненного ППС в расчете на

сухое вещество. Обеднение ППС проводили путем предварительного выращивания растений редиса и капусты. Определение подвижных форм элементов, содержащихся в ППС, проводили в водной и слабокислой вытяжках, методика получения которых описана в практикуме по агрохимии [6].

Перед каждым посевом семян в ППС вносили несъедобную биомассу ранее выращенных растений и молотую солому пшеницы, количество которой определяли по содержанию азота в съедобной биомассе ранее выращенных растений. Это делали для того, чтобы восполнить в субстрате убыль минеральных элементов, вынесенных со съедобной биомассой убранных урожая. Минеральный состав вносимой в ППС соломы пшеницы приведен в табл. 1.

Для приготовления исходных ирригационных растворов использовали отстоянную водопроводную воду, которую пропускали через обедненный ППС каждого из конвейеров. В результате каждый ирригационный раствор представлял собой смесь водопроводной воды и экстрагированных из ППС веществ. После получения исходных ирригационных растворов в раствор для полива экспериментального конвейера вносили ионообменный субстрат, который не удаляли до окончания исследования. Полив растений осуществляли путем подтопления ППС 1 раз в 1–2 сут. После полива конвейеров ирригационные растворы доводили до метки отстоянной водопроводной водой для компенсации эвапотранспирации растений.

В качестве ионообменного субстрата была взята ионообменная смола марки БИОНА, разработанная сотрудниками Института физической и органической химии НАН Беларуси [7, 8]. Ионообменная смола была обогащена только минеральными формами азота (из расчета 11 мг/г сухой массы субстрата) и помещена в специальные нейлоновые мешочки, имеющие перфорацию по всей своей

поверхности. Количество вносимой массы ионообменного субстрата в мешок составляло 10 % от сухой массы ППС.

Состояние растений оценивали по их продуктивности и минеральному составу методами, описанными в работе [5]. Анализ минерального состава растений и ППС был сделан сотрудниками лаборатории экологической физиологии растений Института биологии Коми УрО РАН. Достоверность различий между средними значениями показателей определяли по критерию Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Выбранный способ культивирования растений на ППС с внесением несъедобной биомассы растений в ППС позволил поддерживать относительное содержание макроэлементов примерно на одном уровне, за исключением относительного содержания кальция и калия (рис. 1). Увеличение относительного содержания кальция было связано, видимо, с одной стороны, с разным соотношением азота и кальция в съедобной биомассе выращенных овощей и вносимой соломе и, с другой стороны, с наличием кальция в отстоянной водопроводной воде. Снижение содержания калия зависело от соотношения азота и калия в съедобной биомассе выращенных овощей и вносимой соломе. Однако ППС обладает высокой емкостью в отношении содержания этих элементов, поэтому влияние на урожай растений эти изменения не оказывали (см. табл. 1).

Анализ содержания различных форм азота в ирригационном растворе показал, что в подопытном варианте (с внесением ионообменного субстрата), как и в контрольном, шло постепенное снижение содержания нитратного азота (рис. 2). Разница между вариантами заключалась в том, что на протяжении всего эксперимента концентрация нитратного азота в контрольном растворе была значительно ниже, чем в подопытном. При этом содержание восстановленных форм азота в обоих вариантах слабо различалось (см. рис. 2).

Внесение ионообменного субстрата в ирригационный раствор не оказало влияния на 1-й урожай редиса: массы корнеплодов и листьев в контроле и опыте были фактически равными (рис. 3). Видимо, выход азота из ионообменного субстрата был недостаточно значимым, чтобы повлиять на его величину. В течение последующих 4 урожков в контроле наблюдали значительное снижение биомассы растений, что коррелирует с существенным

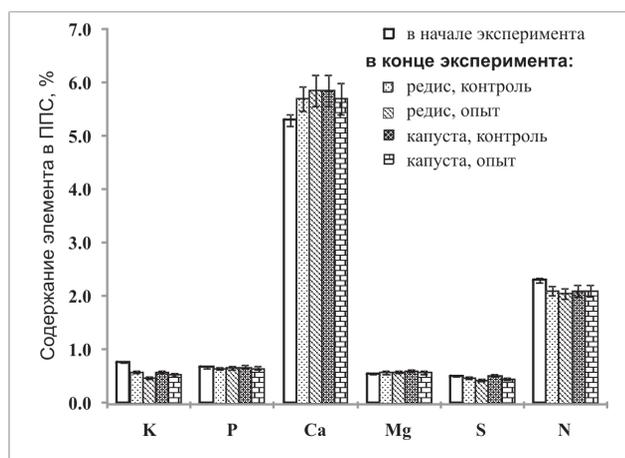


Рис. 1. Общее содержание минеральных элементов в ППС до и после проведения эксперимента. Здесь и на рис. 2, 3: вертикальные отрезки показывают стандартные ошибки средних значений

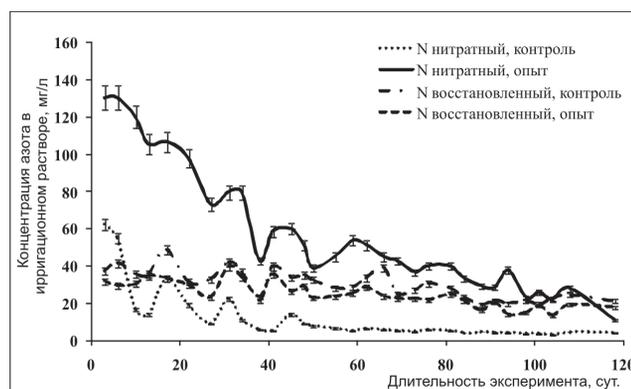


Рис. 2. Динамика содержания нитратных и восстановленных форм азота в ирригационных растворах. Контроль – обедненный ППС, опыт – обедненный ППС + ионообменный субстрат, внесенный в ирригационный раствор

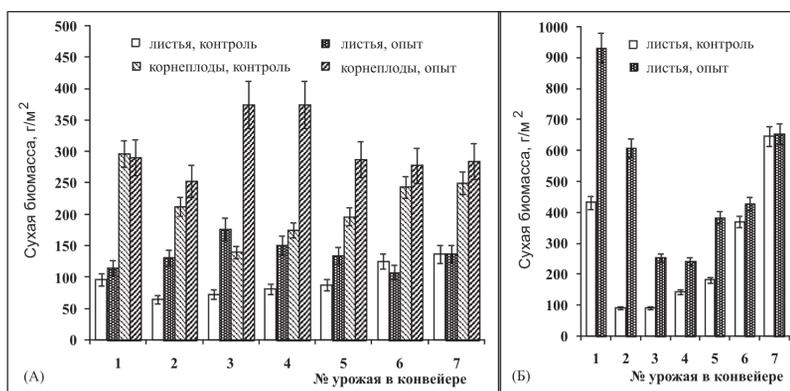


Рис. 3. Динамика урожаев редиса (А) и листовой капусты (Б), выращенных в разных условиях минерального питания. Контроль – обедненный ППС, опыт – обедненный ППС + ионообменная смола, внесенная в ирригационный раствор

Содержание макроэлементов в растениях редиса и листовой капусты, выращенных в конвейерном режиме на субстратах различного состава, %

Образец	№ уборки	Вариант	К	Р	Са	Mg	S	N
Редис								
Листья	1	контроль*	4,30 ^a	0,23 ^a	3,20 ^{б, в}	0,64 ^{а, б}	0,87 ^{в, г}	2,62 ^а
		опыт**	5,50 ^а	0,30 ^{а, б}	4,10 ^в	0,79 ^б	1,10 ^г	4,70 ^б
	3	контроль	4,20 ^а	0,25 ^а	2,40 ^а	0,53 ^а	0,63 ^б	2,20 ^а
		опыт	4,80 ^а	0,24 ^а	2,90 ^{а, б}	0,52 ^а	0,61 ^б	2,74 ^а
	7	контроль	4,80 ^а	0,30 ^{а, б}	1,90 ^а	0,51 ^а	0,77 ^{б, в}	2,40 ^а
		опыт	4,30 ^а	0,33 ^б	2,20 ^а	0,50 ^а	0,41 ^а	2,78 ^а
Редис								
Корне- плоды	1	контроль	4,40 ^а	0,31 ^а	0,27 ^а	0,12 ^а	0,37 ^а	1,40 ^б
		опыт	4,90 ^а	0,34 ^а	0,36 ^а	0,14 ^а	0,39 ^а	2,40 ^а
	3	контроль	4,40 ^а	0,38 ^а	0,32 ^а	0,14 ^а	0,43 ^а	1,23 ^б
		опыт	4,40 ^а	0,29 ^а	0,31 ^а	0,13 ^а	0,32 ^а	1,31 ^б
	7	контроль	4,00 ^а	0,33 ^а	0,30 ^а	0,12 ^а	0,39 ^а	1,06 ^{б, в}
		опыт	3,90 ^а	0,34 ^а	0,30 ^а	0,11 ^а	0,24 ^б	0,94 ^б
Листовая капуста								
Листья	1	контроль	2,60 ^а	0,31 ^а	1,00 ^а	0,17 ^а	0,37 ^{а, б}	1,06 ^а
		опыт	3,20 ^а	0,37 ^а	1,20 ^а	0,21 ^а	0,45 ^б	1,80 ^б
	3	контроль	2,80 ^а	0,40 ^а	1,20 ^а	0,21 ^а	0,43 ^б	1,48 ^{б, в}
		опыт	3,00 ^а	0,39 ^а	1,20 ^а	0,20 ^а	0,41 ^б	1,15 ^{а, в}
	7	контроль	2,90 ^а	0,39 ^а	1,00 ^а	0,20 ^а	0,46 ^б	0,98 ^а
		опыт	2,90 ^а	0,34 ^а	0,96 ^а	0,19 ^а	0,31 ^а	1,09 ^а

Примечание. * – контроль – обедненный ППС; ** – опыт – обедненный ППС + ионообменная смола, внесенная в ирригационный раствор. Сравнение значений идет по столбцам в пределах образца. Различные буквы в надстрочных индексах указывают на существенные различия в значениях (t-Стьюдент, $p > 0,05$).

снижением нитратного азота в растворе. Вероятно, скорость минерализации внесенной растительной биомассы все еще не обеспечивала потребности растений в азоте. В подопытном варианте биомасса листьев и корнеплодов не отличалась от биомассы растений 1-го урожая, а биомасса растений последующих 2 уборок оказалась даже достоверно выше, чем биомасса растений 1-го урожая. Результаты дальнейшего функционирования конвейера показали, что биомассы корнеплодов и листьев контрольных и подопытных растений редиса 7- и 8-й уборок достоверно не отличались и были близки к биомассе растений 1-го урожая. На фоне низкого содержания азота в ирригационном растворе это позволяет предположить, что скорость перехода азота ППС в мобильную форму и потребности растений редиса в азоте пришли в некое равновесное состояние,

позволяющее получать более стабильный, уже не зависящий от присутствия ионообменного субстрата урожай (см. рис. 3).

Реакция листовой капусты на внесение ионообменного субстрата несколько иная. Уже 1-я уборка подопытных растений показала увеличение в 2,2 раза сухой биомассы листьев по сравнению с контрольным вариантом. Вторая уборка контрольных растений показала снижение биомассы растений в 4,8 раза, и на таком низком уровне величина урожая оставалась при последующих 3 уборках. Вторая и последующие 2 уборки подопытных растений также показали снижение биомассы растений, при этом биомассы растений 3- и 4-й уборки оказались в 3,9 раза ниже биомассы растений 1-го урожая. В целом биомасса подопытных растений первых 5 уборок была выше, чем у аналогичных

растений контрольного варианта. В дальнейшем, как и в случае с растениями редиса, происходило восстановление процессов роста растений, и к концу эксперимента урожай контрольных и подопытных растений листовой капусты стал равным и даже несколько превысил урожай растений, полученный при 1-й уборке.

Анализ содержания макроэлементов в растениях листовой капусты и редиса показал, что внесение ионообменного субстрата привело к увеличению относительного содержания азота только в биомассе растений 1-й уборки. В дальнейшем, к концу эксперимента, относительное содержание азота в растениях контрольного и подопытного вариантов выравнивалось (табл. 2). Следует отметить, что в биомассе растений подопытных вариантов к концу эксперимента наблюдали некоторое снижение относительного содержания серы как по отношению к ее содержанию в биомассе растений 1-го урожая, так и по сравнению с содержанием серы в растительной биомассе контрольного варианта растений последней уборки. Изменения относительного содержания остальных макроэлементов были незначительны (см. табл. 2).

Результаты исследования показали значимое влияние внесения ионообменного субстрата на динамику полученных урожаев растений редиса и листовой капусты, выращенных на ППС в конвейерном режиме в течение 4 мес. Так, на фоне постепенного понижения содержания азота в ирригационном растворе, контрольные растения показали сначала снижение, а затем восстановление их биомассы. У растений редиса подопытного варианта биомасса редиса была практически неизменной в ходе эксперимента. В отличие от подопытных растений редиса, подопытные растения листовой капусты повторили динамику урожаев контрольных растений, с той лишь разницей, что урожаи подопытных растений соответствующих уборок были выше контрольных. Обращает на себя внимание, что величина урожаев подопытных и контрольных вариантов, как растений редиса, так и листовой капусты, к концу эксперимента выравнивалась. При этом не было отмечено существенных отличий между подопытными и контрольными вариантами по содержанию макроэлементов в растениях. Само по себе снижение содержания азота в ирригационных растворах должно коррелировать с уменьшением продуктивности растений, но при условии, если растения будут продолжать испытывать минеральное голодание по азоту. Отмеченное постепенное восстановление продуктивности растений говорит о том, что этого не происходит. Следовательно, можно предположить, что между процессами минерализации, происходящими в ППС, и запросами растений в минеральных элементах, в частности азота, идет постепенное установление

некоего равновесия. Роль ионообменного субстрата, внесенного в ирригационный раствор, свелась к поддержанию продуктивности растений на период этой настройки, что хорошо видно у подопытных растений редиса. Вероятно, такая же ситуация была бы у подопытных растений листовой капусты, если бы содержание ионообменного субстрата в ирригационном растворе было выше.

Выводы

1. Ионообменный субстрат, насыщенный доступными формами азота, предотвращает снижение продуктивности редиса и листовой капусты, культивируемых в условиях непрерывного конвейера на ППС с периодическим внесением в него несъедобной растительной биомассы,

2. Выравнивание продуктивностей контрольных и подопытных растений редиса и листовой капусты на заключительном этапе эксперимента связано, видимо, с установлением равновесия между скоростями поступления азота из ранее внесенного в ППС органического вещества и его потреблением растущими растениями, не зависящим от присутствия ионообменного субстрата в ирригационном растворе. При этом истощенный ионообменный субстрат может быть легко выведен из системы.

3. Внесение ионообменного субстрата в ирригационный раствор оказало слабое влияние на относительное содержание макроэлементов в тканях выращиваемых растений.

Авторы выражают благодарность канд. хим. наук В.В. Матусевичу за оказанную помощь в приготовлении ионообменного субстрата, использованного в эксперименте.

Работа была выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных Академий наук на 2013–2020 гг. по темам № 56.1.4 и № 61.1.

Список литературы

1. Mackowiak C.L., Garland J.L., Sager J.C. Recycling crop residues for use in recirculating hydroponic crop production // *Acta Horticulturae*. 1996. V. 44. P. 19–24.
2. Manukovsky N.S., Kovalev V.S., Rygalov V.Y., Zolotukhin I.G. Waste bioregeneration in life support CES: development of soil organic substrate // *Adv. Space Res.* 1997. V. 20. P. 1827–1832.
3. Cheng Q., Guo S., Ai W. et al. A straw-soil co-composting and evaluation for plant substrate in BLSS // *Ibid.* 2013. V. 51. P. 483–491.
4. He W., Liu H., Xing Y. et al. Comparison of three soil-like substrate production techniques for a bioregenerative life support system // *Ibid.* 2010. V. 46. P. 1156–1161.

5. Ушакова С.А., Величко В.В., Тихомиров А.А. и др. Использование ионообменных субстратов для оптимизации условий минерального питания растений применительно к системам жизнеобеспечения // *Авиакосм. и экол. мед.* 2013. Т. 47. № 3. С. 38–42.

Ushakova S.A., Velichko V.V., Tikhomirov A.A. et al. Use of ion-exchange substrates for optimizing the mineral supply to plants within life support systems // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2013. Т. 47. № 3. Р. 38–42.

6. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. М., 2001.

Mineev V.G. A practical course in agrochemistry. Moscow, 2001.

7. Солдатов В.В., Перышкина Н.Г. Искусственные почвы для растений. Минск, 1985.

Soldatov V.V., Peryshkina N.G. Artificial soil for plants. Minsk, 1985.

8. Солдатов В.В., Перышкина Н.Г., Хорошко Р.П. Ионитные почвы. Минск, 1978.

Soldatov V.V., Peryshkina N.G., Khoroshko R.P. Ion-exchange soils. Minsk, 1978.

Поступила 19.02.2014

ION-EXCHANGE SUBSTRATE AS A SOURCE OF NITROGEN MOBILE FORMS IN THE CONVEYOR METHOD OF VEGETABLES CULTIVATION ON ARTIFICIAL SOIL

Velichko V.V., Ushakova S.A., Tikhomirov A.A.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2014. № 4. Р. 57–62

The investigation had the objective to evaluate the applicability of ion-exchange substrate to maintaining the mobile nitrogen content in irrigation solution and artificial soil during cultivation of a mixed (in term of age) vegetable container. Objects of the investigation were radishes and leaf cabbage crops with the period of vegetation of 28 days. A 120-day experiment showed that single introduction of the ion-exchange substrate promoted nitrogen stabilization in the irrigation solution and, consequently, yielding of higher crops as compared with the control.

Key words: ion-exchange substrate, artificial soil, conveyor, bio-engineering life support system.

ЮБИЛЕИ

КАФЕДРЕ АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ 75 ЛЕТ

Книга В.В.

Российская медицинская академия последипломного образования Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва
E-mail: knigavv@g.mail.ru

В 2014 г. кафедре авиационной и космической медицины Российской медицинской академии последипломного образования исполняется 75 лет.

История кафедры неразрывно связана с развитием в России авиации и авиационной медицины. Предпосылки необходимости участия авиационных медиков в обеспечении безопасности полетов возникли с первыми «авиационными происшествиями» при попытках человека подняться в небо. Так, 14 июля 1909 г. ранее, чем где бы то ни было в мире, Совет Императорского Всероссийского аэроклуба принял постановление: «Признать необходимым разрешить желающим членам аэроклуба совершать полеты лишь при условии их медицинского освидетельствования». Эту дату можно считать днем рождения авиационной медицины в нашей стране.

Развитие авиационной техники, совершенствование и разработка специфических методов медицинского освидетельствования летного состава потребовали подготовки профессиональных научных и врачебных кадров в области авиационной медицины. В 1939 г. по инициативе профессора В.В. Стрельцова при Центральном институте усовершенствования врачей (в настоящее время Российская медицинская академия последипломного образования Министерства здравоохранения Российской Федерации – РМАПО Минздрава России) в составе военного факультета создается кафедра авиационной медицины (далее – кафедра) по подготовке врачей и научных сотрудников для Военно-воздушных сил (ВВС) страны.

Владимир Владимирович Стрельцов – первый заведующий кафедрой, выдающийся ученый, один из учеников академика Л.А. Орбели, последователь физиологической школы 1-го Ленинградского медицинского института имени И.П. Павлова, а затем Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, приложил огромные усилия, чтобы организовать педагогический процесс кафедры. Были решены многие вопросы, связанные с подбором преподавателей, составлением первых программ обучения и учебно-методических пособий, приобретением лабораторного оборудования, организацией, методическим обеспечением обучения, проведением научной работы и т.д. Главное направление научных

исследований В.В. Стрельцова – изучение влияния высотных полетов на организм летчика. Обладая удивительным даром предвидения, высокой работоспособностью, неиссякаемой энергией экспериментатора, В.В. Стрельцов стал инициатором установки в здании Центрального института усовершенствования врачей (ЦИУВ) одной из первых в Советском Союзе барокамер для проведения высотных экспериментов. Данные, полученные в результате исследований в барокамере, легли в основу многих научных трудов кафедры и были использованы ее сотрудниками при подготовке кандидатских и докторских диссертаций. Изучая реакции организма при воздействии различных экстремальных факторов с позиции эволюционной физиологии, В.В. Стрельцов значительно расширил рамки физиологического эксперимента, используя клинические, биохимические, гистологические и психофизиологические методики. Им рассматривались вопросы влияния недостатка кислорода на высшую нервную деятельность. Наблюдая в ходе экспериментов значительное снижение памяти, дезинтеграцию нервно-психической деятельности, выражающуюся в угнетении функций коры головного мозга, замедлении интеллектуальных процессов, повышении самооценки, снижении критики, импульсивность, склонность к принятию нецелесообразных решений при подъеме на высоту, В.В. Стрельцов пришел к выводу о том, что центральную роль в реакциях организма на кислородное голодание играет кора головного мозга. Экспериментальные данные в области физиологии высотных и скоростных полетов В.В. Стрельцов оформил в докторскую диссертацию на тему «Влияние пониженного барометрического давления и ускорений на организм» (1938). Это была вторая в нашей стране докторская диссертация по авиационной медицине (первая – П.И. Егоров «Влияние пониженного парциального давления кислорода на организм человека», 1936). Выдающийся ученый впервые поставил вопрос о необходимости специальной подготовки авиационных врачей. При его непосредственном участии Наркомздрав в 1939 г. принял решение о создании при ЦИУВ кафедры авиационной медицины, а при 2-м Московском медицинском институте был открыт факультет подготовки авиационных врачей.

Научно-исследовательская работа авиационных медиков военного периода имела сугубо практическую направленность. Продолжалось определение переносимости летным составом различных степеней кислородного голодания. В это время проводилось исследование физиологических реакций человека при высотных полетах (В.В. Стрельцов, В.А. Спасский, Л.Е. Розенблюм и др.). К.К. Платонов, специалист по авиационной психологии, провел глубокий анализ психологического состояния летчика в полете и разработал классификацию утомления и переутомления.

Бурное послевоенное развитие гражданской авиации потребовало повышенного внимания к авиа-медицинской науке, обеспечению безопасности полетов, к состоянию здоровья летного состава, бортпроводников и инженерно-технического персонала, а также курсантов, и кандидатов, поступающих в летные и летно-технические учебные заведения. И как следствие, 16 июня 1948 г. было принято Постановление Совета Министров СССР о передаче Управления лечебно-санитарных учреждений воздушного транспорта и подведомственных ему медицинских учреждений из Минздрава СССР в Главное Управление ГВФ. (Согласно приказу Минздрава СССР и начальника Главного Управления ГВФ от 23.06.1948 г. № 388/117 все медицинские учреждения и фонды Минздрава СССР, так или иначе участвующие в медицинском обеспечении гражданской авиации, передавались Главному управлению ГВФ). Приказом начальника Главного управления ГВФ от 27.08.1948 г. № 237 утверждено «Положение о медицинской службе Гражданского Воздушного Флота», которое действовало почти тридцать лет. В состав Главного Управления ГВФ было включено Управление лечебно-санитарных учреждений (УЛСУ), а также подведомственные медицинские учреждения других управлений ГВФ (в том числе и ЦКБиП).

В период Великой отечественной войны кафедра не работала и только в ноябре 1944 г. ее деятельность была возобновлена на военном факультете ЦИУВ. В 1957 г. факультет был расформирован, а авиационные врачи дополнительное профессиональное образование получали, изучая курс авиационной медицины на военной кафедре ЦИУВ. Приказание начальника УЛСУ ГВФ от 23 сентября 1957 г. № 9 гласило: «В соответствии с приказом Министра высшего образования СССР за № 726 от 10 июля 1957 г. в ЦИУВ (Москва) при военной кафедре создать курс авиационной медицины для усовершенствования гражданских авиационных врачей». Учебной программой данного курса установлено ежегодное проведение 2 циклов занятий.

С 1947 по 1953 г. кафедру авиационной медицины военного факультета ЦИУВ возглавлял Д.Е. Розенблюм. Его научные труды были посвящены вопросам высотной физиологии, высот-

ной болезни, влиянию на организм перегрузок. В 1944 г. за организацию медицинской помощи французским летчикам эскадрильи «Нормандия – Неман» Д.Е. Розенблюм был награжден высшим французским орденом Почетного легиона. Под его руководством подготовлено 5 кандидатов медицинских наук (Е.И. Кузнец, А.М. Генин, Г.П. Михайловский, Б.С. Алякринский, Е.С. Завьялов). Издано учебное пособие «Разработка проблем медицинского обеспечения высотных полетов».

В течение 2 лет, с 1953 по 1955 г., кафедрой заведовал начальник Управления медицинской службы Советской Армии, генерал-майор медицинской службы А.П. Попов. За этот период было подготовлено 2 кандидата наук (А.В. Демидов, Н.Н. Гуровский).

С 1955 по 1960 г. кафедрой руководил И.М. Хазен. Под его руководством подготовлено 4 кандидата наук (А.С. Барер, Ф.П. Космолинский, В.А. Скрыпин, П.М. Суворов). Полковник медицинской службы И.М. Хазен награжден медалями К.Э. Циолковского, С.П. Королева, Ю.А. Гагарина и, как участник Великой отечественной войны, боевыми наградами: орденом Красной Звезды и медалями. Он участвовал в создании журнала «Космическая биология и медицина» и был в первом составе редколлегии. При его непосредственном участии в г. Калуге проводились Научные чтения им. К.Э. Циолковского.

С 1961 по 1983 г. кафедру авиационной медицины ЦИУВ возглавлял Г.Л. Комендантов — один из основоположников авиационной медицины в СССР, профессор, доктор медицинских наук, лауреат Государственной премии СССР, ученик Л.А. Орбели, полковник медицинской службы, участник Великой отечественной войны. Г.Л. Комендантов принадлежал к плеяде выдающихся ученых в области авиационной и космической медицины. Он был воспитан в лучших традициях отечественной физиологической школы и был последователем учения об адаптационно-трофической функции симпатического отдела вегетативной нервной системы организма. Прекрасная научная подготовка, энциклопедические знания и большой педагогический опыт позволили ему организовать работу кафедры на высоком научном и педагогическом уровнях. В этот период на кафедре активно внедрялись новые средства и формы обучения, обосновывались пути оптимизации преподавания авиационной медицины. Были подготовлены 4 доктора наук (Г.Л. Комендантов, 1964; В.Н. Алифанов, 1968; В.И. Копанев, 1970; Н.А. Разсолов, 1980) и 23 кандидата наук (В.М. Мураенко, 1965; Н.А. Разсолов, 1965; С.И. Степанова, 1966; В.П. Ерохин, 1969; В.С. Компанец, 1969; Л.М. Лемешева, 1969; В.Н. Разсудов, 1969; М.Б. Забутый, 1970; В.М. Козин, 1970; А.И. Онуфреш, 1970; Л.А. Помогайло, 1970; Л.Д. Оловянишников, 1972; М.С. Кайбышев,

1974; И.П. Полещук, 1975; К.К. Нестерук, 1977; Л.И. Черникова, 1978; А.Г. Быстрова, 1979; В.Д. Юстова, 1979; О.П. Яковлев, 1979; Н.А. Феданова, 1980; И.С. Майшева, 1981; Т.П. Бодаченко, 1983; О.В. Козин, 1983). Г.Л. Комендантов в монографии «Избранные лекции по авиационной медицине» создал теоретический фундамент авиационной медицины, сформулировал дефиниции предмета, задач, методов научной дисциплины, нашел опорные точки для периодизации и прогноза развития авиационной медицины. Разработка этих основополагающих положений авиационной медицины сделана Г.Л. Комендантовым впервые в мире: ни в отечественных, ни в зарубежных учебниках и монографиях по авиакосмической медицине эти вопросы не представлены. Сотрудники кафедры подготовили и опубликовали 2 сборника научных трудов в 1966 и 1970 г. и более 60 лекций и учебных пособий. Г.Л. Комендантов автор более 200 научных работ, посвященных влиянию ускорений на организм летчика, пространственной ориентации летчика в полете, спасению членов экипажа в аварийных ситуациях и др.

С 1961 г. кафедра стала осуществлять подготовку врачей гражданской авиации России и зарубежных стран, в том числе специалистов ГДР, Болгарии, Венгрии, Кубы, Эстонии, Монголии, Ирана и стран СНГ. Обучение врачей осуществлялось также на выездных циклах, проводимых в разных регионах страны. Клинической базой кафедры с 1957 г. стала Центральная клиническая больница и поликлиника ГВФ. Под руководством Г.Л. Комендантова была реорганизована педагогическая деятельность кафедры, разработана первая «Унифицированная программа подготовки врачей по авиационной медицине» (1981). Большое внимание он уделял преподаванию теоретических и практических вопросов авиационной медицины, научным классификациям, вопросам терминологии. Кроме традиционных форм обучения на кафедре внедрялись новые: семинары-дискуссии, научно-практические конференции, деловые игры. Особое внимание уделялось методам объективного контроля знаний (введение базисного, рубежного и заключительного программированного контроля). Г.Л. Комендантов и его сотрудники были самыми активными участниками всех чтений им. К.Э. Циолковского с первого года их оснований (1966). Сотрудники кафедры выступали с научными докладами на всех форумах по авиакосмической медицине, на научных конференциях в СССР и за рубежом. На XX Международном конгрессе по авиакосмической медицине, проходившем во Франции, в г. Ницца, от кафедры было представлено 3 доклада.

В 1948 г. начала формироваться, а к 1954 г. была окончательно сформирована трехзвенная система медицинского обеспечения полетов гражданской авиации: предполетный медицин-

ский осмотр; динамическое врачебное наблюдение за летным составом в межкомиссионный период; врачебно-летная экспертиза. Сначала в медицинском обеспечении полетов участвовали врачи летных отрядов, затем кабинеты авиационной медицины (КАМ), лаборатории авиационной медицины (ЛАМ), ЛАМ с функцией врачебно-летней экспертной комиссии (ВЛЭК). Должности врачей летных отрядов были введены в штатное расписание ЛАМ. Специализированную помощь летный состав получал у врачей-специалистов медико-санитарной части, а санаторно-курортное обеспечение было возложено на лечебно-профилактический отдел Управления лечебно-санитарных учреждений ГВФ.

Таким образом, в гражданской авиации была создана стройная система медицинского обеспечения полетов и медицинского обслуживания авиационного персонала (традиции которой сохранены и в настоящее время), эффективность которой в несколько раз превосходит систему медицинского обеспечения полетов стран Запада и США. По материалам диссертационной работы аспиранта кафедры Незами Аслсиси Амира (2011) летное долголетие в России на 7–8 лет продолжительнее, чем в мировом лидере по авиоперевозкам США и европейской стране Норвегии. Летное долголетие в нашей стране достигнуто системой медицинского обеспечения полетов и стационарной врачебно-летней экспертизой. Так, в ЦКБ ГА прошли освидетельствование 3500 пилотов в возрасте 55 лет и старше. Из них 80 % после всестороннего обследования и лечения получили право на продолжение летной работы.

В 1988 г. кафедра переименована и стала называться кафедрой авиационной и космической медицины.

После 1991 г., в период распада СССР, Медико-санитарное управление было реорганизовано в отдел авиационной медицины и охраны труда. Руководитель отдела Е.В. Хватов приложил немало усилий для сохранения медицинской службы гражданской авиации и разработки документов, регламентирующих деятельность медицинской службы в новых экономических условиях. Сотрудники кафедры, специалисты отдела авиационной медицины Государственной службы гражданской авиации Минтранса России, Центральной врачебно-летней экспертной комиссии гражданской авиации, Государственного научно-исследовательского института гражданской авиации в соавторстве с авиационными медиками Военно-воздушных сил Минобороны России разработали уникальное медико-санитарное обоснование, которое послужило решающим фактором при решении вопроса о включении в Закон о государственных пенсиях в Российской Федерации нормы, предусматривающей значительное улучшение пенсионного обеспечения летного состава гражданской авиации.

В дальнейшем реорганизация гражданской авиации продолжалась, и это коснулось и ее медицинской службы. Несмотря на проводимые организационно-штатные мероприятия, в 2002 г. уже в новых условиях специалистами кафедры и Центральной врачебно-летной экспертной комиссии гражданской авиации были разработаны и зарегистрированы в Минюсте России Федеральные авиационные правила «Медицинское освидетельствование летного, диспетчерского состава, бортпроводников, курсантов и кандидатов, поступающих в учебные заведения гражданской авиации» (ФАП МО ГА-2002), которые действуют в настоящее время.

С 1983 по 2010 г. кафедру возглавлял ученик профессора Г.Л. Комендантова, профессор, доктор медицинских наук, заслуженный работник Высшей школы Российской Федерации Н.А. Разолов. Под его руководством подготовлено 14 кандидатов наук (Н.В. Калашченко, 1974; В.А. Головкин, 1975; Ж.И. Грицкевич, 1987; Н.А. Кудряшова, 1987; Л.И. Покотило, 1989; Е.В. Колесникова, 1992; Б.Г. Потиевский, 1993; Т.А. Крапивницкая, 1994; В.Н. Хоботнев, 1999; О.Ю. Колесниченко, 2001; Н.С. Миркина, 2001; А.А. Рудовский, 2003; Б.Г. Хашба, 2009 и А.А. Незами, 2011). В 2007 г. Т.А. Крапивницкой защищена докторская диссертация. В этот период основными направлениями деятельности кафедры являлись: совершенствование педагогического процесса, проведение научных исследований по актуальным вопросам авиационной медицины, участие в разработке нормативных документов по организации медицинской службы гражданской авиации, а также научно-общественная работа (проведение научных конференций, симпозиумов, работа в различных научных Советах и др.). Работа кафедры подробно освещалась в материалах, посвященных юбилейным датам (50-, 60- и 70-летию кафедры; 100-летию со дня рождения В.В. Стрельцова, 100-летию со дня рождения Г.Л. Комендантова).

Представляется важным остановиться на достижениях кафедры в последние годы. Серьезные изменения законодательства РФ в здравоохранении и образовании, введение специальности «Авиационная и космическая медицина» и должности «врач по авиационной и космической медицине» потребовали существенных изменений учебно-методического и научно-исследовательского направлений деятельности кафедры. Слушателями циклов, проводимых кафедрой, являются представители государственной, экспериментальной, гражданской авиации, авиации других ведомств (МЧС, МВД), претендующих на получение сертификата специалиста по специальности «Авиационная и космическая медицина».

В настоящее время основные усилия профессорско-преподавательского состава кафедры направ-

лены на решение задач по подготовке высококвалифицированных и компетентных медицинских специалистов, осуществляющих медицинское обеспечение полетов. В практику преподавания на кафедре были внедрены практически все формы обучения: клиническая ординатура, аспирантура, общее и тематическое усовершенствование, а с 2009 г. – и профессиональная переподготовка. Обучение проводилось в соответствии с учебными планами и «Типовой программой последипломного обучения врачей по авиационной и космической медицине», которая регулярно пересматривалась.

В 2009–2013 гг. преподавателями кафедры проведены 4 выездных цикла по авиационной медицине: для врачей и руководителей медицинских организаций гражданской авиации Республик Туркменистан, Казахстан и Таджикистан (2 цикла).

Кафедрой разработаны, одобрены и рекомендованы к утверждению;

- основная профессиональная образовательная программа послевузовского профессионального образования по специальности «Авиационная и космическая медицина» (ординатура);

- основная профессиональная образовательная программа послевузовского профессионального образования по специальности «Авиационная, космическая и морская медицина» (аспирантура);

- программа вступительного экзамена в аспирантуру по специальности «Авиационная, космическая и морская медицина»;

- программа послевузовского и дополнительного образования врачей по направлению «Авиационная и космическая медицина»;

- тестовые задания к сертификационному экзамену по специальности «Авиационная и космическая медицина»;

- аттестационные тестовые задания на присвоение категории (высшая, первая, вторая) по специальности «Авиационная и космическая медицина»;

- задание «Разработка электронных образовательных ресурсов – ЭОРов и электронных учебно-методических ресурсов – ЭУМРов (модулей) для системы дистанционного обучения в ГБОУ ДПО РМАПО» по теме «Избранные вопросы авиационной медицины».

В качестве объективной системы контроля знаний для проведения сертификационных экзаменов сотрудниками кафедры впервые в России были разработаны и внедрены «Квалификационные тесты по авиационной и космической медицине».

Активно применяются современные технологии обучения: демонстрации учебных фильмов и их обсуждение, семинары-дискуссии, деловые игры, ситуационно-ролевые игры, проблемно-целое обучение. Лекционный материал представлен в виде компьютерных презентаций, который регуляр-

но обновляется. Учебные комнаты оснащены современным видеопроекционным оборудованием.

В современных условиях дополнительное профессиональное образование в области авиационной и космической медицины нуждается в применении новых современных образовательных технологий, в том числе, основанных на модульном принципе представления содержания образовательной программы и построения учебных планов; использования электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

При реализации образовательных программ с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий сотрудниками кафедры изучены нормативно-правовые документы, методические разработки Минобрнауки России, Минздрава России и Российской медицинской академии последипломного образования Минздрава России по оказанию учебно-методической помощи обучающимся, в том числе в форме индивидуальных консультаций, оказываемых дистанционно с использованием информационных и телекоммуникационных технологий.

Основное направление работы кафедры при внедрении дистанционных образовательных технологий – разработка электронных образовательных ресурсов (ЭОРов) и электронного учебно-методического комплекса (ЭУМР). В результате использования указанных технологий кафедрой решались задачи:

- улучшения возможности доступа медицинского персонала, получающего дополнительное профессиональное образование на кафедре, к качественным образовательным услугам;
- большего охвата обучаемых за счет предоставления возможности освоения образовательных программ в максимально удобной форме – непосредственно по месту его пребывания;
- повышения эффективности использования научного, методического и технического потенциала РМАПО;
- улучшения качества подготовки за счет внедрения новых, современных информационных технологий и средств обучения;
- улучшения самостоятельной работы обучающихся, а также уменьшения затрат на организацию и реализацию учебного процесса.

Основным элементом информационно-образовательной среды при реализации образовательных программ по авиационной и космической медицине с применением электронного обучения является электронный образовательный ресурс, направленный на реализацию образовательного процесса с помощью информационно-коммуникационных технологий и на применение новых методов и форм обучения: электронное обучение, мобильное обучение, сетевое обучение, автономное обучение, смешанное обучение, совместное обучение. Использование ЭОР в сочетании с системами управления обучени-

ем и другими элементами электронного учебно-методического комплекса позволяет эффективно реализовать: самостоятельную работу слушателей по освоению образовательных программ; поддержку учебной подготовки каждого отдельного слушателя индивидуальным преподавателем и применение средств информационно-коммуникационных технологий в групповой учебной деятельности.

Научными направлениями деятельности кафедры являются: повышение эффективности учебного процесса, оценка роли человеческого фактора в авиации, совершенствование врачебно-лётной экспертизы. В последние годы преподавателями кафедры опубликовано 3 учебных пособия: «Человеческий фактор в авиации» (Н.А. Разсолов), «Гипертоническая болезнь: диагностика, лечение и врачебно-лётная экспертиза» (А.Ю. Кузьмина), «Высотная болезнь» (В.В. Книга, Е.А. Праскурничий), а также методическое пособие «Велоэргометрическое исследование в практике врачебно-лётной экспертизы гражданской авиации» (авторы А.Ю. Кузьмина, В.Д. Юстова, Б.Г. Потиевский и др.). В 2012–2013 гг. сотрудниками кафедры успешно выполнена научно-исследовательская работа на тему «Проведение исследований по выработке системно-функционального подхода к психологическому обследованию авиационного персонала с целью создания комплексной оценки авиационного персонала». В результате указанной научно-исследовательской работы заказчику, Федеральному агентству воздушного транспорта, были представлены: программный продукт с документацией, методические пособия по работе с системой и тестами, а также предложения по созданию и управлению единой базой данных психологического обследования пилотов гражданской авиации.

Сотрудники кафедры принимают активное участие в организации и непосредственно участвуют в научных конференциях на территории Российской Федерации и за рубежом. Кафедрой были подготовлены и проведены 2 Всероссийские научно-практические конференции: «Актуальные вопросы медицинского обеспечения полетов», посвященная 100-летию авиационной медицины в России и 70-летию кафедры авиационной и космической медицины РМАПО (18–19 ноября 2009 г.) и «Актуальные вопросы медицинского обеспечения полетов в гражданской авиации Российской Федерации» (23–24 сентября 2010 г.). Кроме того, сотрудники кафедры приняли участие в международных конференциях: в 2012 г. – в Конгрессе European Society of Aerospace Medicine (ESAM) в Лондоне; Abstracts ESH Satellite symposium «Resistant hypertension», St. Petersburg; The Third International Symposium on Noninvasive Electrocardiology, Belgrade, Serbia; в 2013 г. – в Международном конгрессе по авиационной и космической медицине (ICASM 2013), г. Иерусалим.

Сотрудники кафедры участвуют в работе Координационно-консультативного авиамедицинского совета Межгосударственного авиационного комитета (В.В. Книга, Н.А. Разсолов, В.Д. Юстова), в разработке нормативно-правовых документов для гражданской авиации СНГ (В.Д. Юстова), в качестве экспертов участвуют в работе государственных комиссий по расследованию авиационных происшествий. Кафедра поддерживает контакты с ИКАО, Европейским авиационным сообществом и Медицинской ассоциацией гражданской авиации России.

Оглядываясь на 75-летний путь, следует отметить, что кафедра авиационной и космической медицины РМАПО прошла его в неразрывной связи с энтузиастами российской авиации, выдающимися деятелями авиационной науки и медицины. На протяжении всей своей деятельности кафедра работала в тесном взаимодействии с летным составом, диспетчерами УВД, медицинскими организациями в авиации и с практическими авиационными врачами. Большую помощь в ее работе оказывали старейший авиационный врач, один из руководителей медицинской службы гражданской авиации И.Г. Ашкинази, главные врачи ЦКБип ГВФ И.М. Пищугин, М.С. Коротун, К.С. Рыбаков; главные врачи ЦКБ ГА В.К. Вакулин, П.И. Онищенко, С.И. Сытник, Н.Б. Забродина. В комплектовании циклов и в педагогическом процессе принимали и принимают участие руководители медицинской службы гражданской авиации, главные специалисты и врачи-специалисты ЦВЛЭК ГА (Кравцов А.И., Жадовский Л.А., Ивлева И.Г., Токарев В.Ф., Лихачева Л.И., Брагина А.Я., Петровский Б.М., Исаханов П.М., Хватов Е.В., Коханова Л.С., Шабурова Е.И., Козин В.М., Квашнин Ю.К., Орлова Н.Е., Книга В.В., Соловьева Т.В., Быстрова А.Г., Мазур Н.А., Власов В.Д., Нерсесян Д.Е., Чернышев Д.А., Гельман Б.Л., Турецкая А.С., Макарова Н.Б., Семенов Б.Х. и многие, многие другие ведущие специалисты в области авиационной медицины гражданской авиации. Постоянное внимание и помощь кафедре оказывали и оказывают ректоры (ЦИУВ, ЦОЛИУВ, РМАПО) – В.П. Лебедева, М.Д. Ковригина, В.В. Гаврюшов, К.П. Кашкин, Л.К. Мошетьова; деканы медико-биологического факультета, в составе которого находится кафедра, – В.И. Чумак, М.Ф. Бондаренко, Л.И. Неклюдова, Г.Г. Автандилов, С.П. Миронов и Г.А. Яровая.

На кафедре защитили диссертации и трудились в различных медицинских и научных учреждениях: С.И. Степанова (ИМБП), в ГосНИИ работали В.П. Ерохин, А.И. Онуфреш, Н.А. Феданова, К.К. Нестерук, Л.А. Помогайло. В экспериментальной авиации работает Н.А. Кудряшова. Специалисты, подготовленные на кафедре, работают в Украине

(Т.П. Бодаченко), Туркменистане (М.С. Кайбышев), Казахстане (Л.И. Покотило). Ординаторы (аспиранты) кафедры также трудились: в МЦ «Аэрофлот» (М.А. Муравьева, К.К. Нестерук, Л.И. Черникова, О.В. Козин), МСЧ аэропорта «Кольцово», г. Екатеринбург (Ю.Г. Синельников). В настоящее время работают: в Росавиации (Е.В. Колесникова), ЦВЛЭК ГА (А.Г. Быстрова), ЦКБ ГА (Б.Г. Потиевский, Н.С. Миркина, Л.Ю. Белова), МСЧ «Международный аэропорт Шереметьево» (Н.А. Смолен).

На кафедре работали преподавателями Н.М. Полонский, Е.Н. Домантович, Б.С. Алякринский, В.А. Скрыпин, А.В. Демидов, В.Н. Алифанов, Л.Д. Оловянишников, М.Д. Чиркин, В.Н. Разсудов, К.А. Пименова, А.Г. Быстрова, Е.В. Колесникова и другие сотрудники: инженер В.Е. Галкин, В.А. Манн, З.Н. Найденова, П.Б. Гюрджян, С.Ф. Энуаров.

В настоящее время на кафедре работают: доктор медицинских наук, профессор В.В. Книга (заведующий кафедрой), доктор медицинских наук, профессор Т.А. Крапивницкая, доценты: доктор медицинских наук, Е.А. Праскурничий, кандидат медицинских наук А.Ю. Кузьмина, кандидат медицинских наук Н.С. Миркина, кандидат медицинских наук Б.Г. Потиевский, лаборанты Л.В. Крапивницкая и А.А. Смышляева. Более 40 лет на кафедре трудятся доктор медицинских наук, профессор Н.А. Разсолов и кандидат медицинских наук, доцент В.Д. Юстова. Свой богатый педагогический опыт, знания, традиции школы Л.А. Орбели, В.В. Стрельцова, Г.Л. Комендантова они передают новому поколению преподавателей кафедры.

Большой вклад в деятельность кафедры по-прежнему вносят клинические базы: с 1993 г. – ФБУ «Центральная клиническая больница гражданской авиации» (главный врач Н.Б. Забродина), с профильными отделениями (экспертизы и восстановительного лечения летного состава, функциональной диагностики, рентгенологии, ультразвуковой диагностики, эндокринологии и др.); ЦВЛЭК ГА (председатель А.Г. Быстрова); МЦ ОАО «Аэрофлот» (главный врач О.А. Каина); Учебно-тренировочный центр № 21 (директор В.К. Ратников), здравпункт МСЧ ОАО «Аэропорт Внуково» (заведующий В.А. Ротарь). Сотрудникам всех этих организаций и учреждений коллектив кафедры выражает искреннюю благодарность за многолетнее сотрудничество по подготовке профессиональных авиамедицинских специалистов.

Отмечая 75-летие, профессорско-преподавательский состав кафедры, сохраняя и приумножая славные традиции российской научной школы, с чувством благодарности к основателям авиамедицинской науки и кафедры авиационной и космической медицины, отдает все свои силы, знания и умения, педагогический талант подготовке высококвалифицированных профессионалов отечественной авиационной медицины.



**IX Всеармейская научно-практическая конференция
с международным участием**

**«БАРОТЕРАПИЯ В КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ И РЕАБИЛИТАЦИИ
РАНЕННЫХ, БОЛЬНЫХ И ПОРАЖЁННЫХ»**

ОРГАНИЗАТОРЫ:

Главное военно-медицинское управление МО РФ

Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова МО РФ

Научно-практическое общество баротерапевтов Санкт-Петербурга и Ленинградской области

ООО «Ком-Форум»

Глубокоуважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в работе **IX Всеармейской научно-практической конференции с международным участием «Баротерапия в комплексном лечении и реабилитации раненых, больных и поражённых»**, которая будет проводиться **28-29 мая 2015 года** по адресу: Санкт-Петербург, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Большой Сампсониевский проспект, д.1, клуб.

На конференции предполагается рассмотреть теоретические и прикладные вопросы гипербарической оксигенации (ГБО) при лечении раненых, больных и поражённых; проблему реабилитации человека со сниженной работоспособностью различными видами и методами баротерапии; теоретические и практические положения гипербарической физиологии и водолазной медицины.

1. Гипербаротерапия: лечебная компрессия, лечебная рекомпрессия при специфических профессиональных заболеваниях водолазов, аэробаротерапия, оксигенобаротерапия, нормоксическая гипербаротерапия. ГБО как средство повышения работоспособности, лечения и реабилитации пациентов с различной патологией;

2. Нормобарическая баротерапия: оксигенотерапия, карбогенотерапия, оксигеногелиотерапия, интервальная гипоксическая терапия. Использование дыхательных смесей с различным парциальным давлением газов;

3. Гипобаротерапия: общая – непрерывная, периодическая; локальная – периодическая вакуумдекомпрессия, импульсная;

4. Диагностика, лечение и профилактика специфической профессиональной патологии лиц, пребывающих в условиях повышенного давления газовой и водной среды. Определение индивидуальной устойчивости водолазов к факторам гипербарии (декомпрессионное газообразование, токсическое действие высоких парциальных давлений азота и кислорода);

5. Меры безопасности при проведении сеансов баротерапии.

В рамках конференции будет организована выставка современных образцов медицинского и водолазного оборудования.

О формах и условиях участия в конференции, порядке оформления тезисов можно уточнить в организационном комитете: ООО «Ком-Форум», Тел/факс 8-812-310-11-97 E-mail: info@baltika21.ru, it-med@inbox.ru. Сайт: www.baltika21.ru

Кроме того, по интересующим вопросам, Вы можете обратиться на кафедру физиологии подводного плавания Военно-медицинской академии имени С.М.Кирова к членам организационного комитета:

Андрусенко Андрей Николаевич 8-812-495-72-43; 8-904-636-44-36; an.a.an@mail.ru

Шитов Арсений Юрьевич 8-812-495-72-87; 8-911-707-87-80; arseniyshitov@mail.ru

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

Монастырева Александра Алексеевича

Новикова Валерия Евгеньевича

Богомолова Валерия Васильевича

Дерендяеву Тамару Алексеевну

Оганова Виктора Сумбатовича

Добрые Вам пожелания и плодотворного сотрудничества
с нашим журналом!