

УДК 612.821

РАЗРАБОТКА И МОДИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ПРОФИЛАКТИКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ЭФФЕКТОВ НЕВЕСОМОСТИ В ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

© 2021 г. Е. Н. Ярманова*

ФГБУН ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*E-mail: zhana@imbp.ru

Поступила в редакцию 01.02.2021 г.

После доработки 08.02.2021 г.

Принята к публикации 09.02.2021 г.

Статья посвящена описанию истории разработки и совершенствования средств российской системы профилактики негативных эффектов космических полетов за последние два десятилетия и вклада И.Б. Козловской в это направление. Описаны результаты физиологических испытаний эффективности новых и модернизированных средств в условиях наземных модельных экспериментов и перспективы развития системы профилактики.

Ключевые слова: средства профилактики, тренажеры, Международная космическая станция, невесомость, физиологические испытания.

DOI: 10.31857/S013116462103019X

Разработка Российской системы профилактики неблагоприятного воздействия микрогравитации на организм человека – одно из главных достижений российской космической физиологии. Ведущую роль в создании и постоянном совершенствовании системы профилактики сыграла Инеса Бенедиктовна Козловская. На основе ее многолетних экспериментальных работ и сформированной концепции гипогравитационного двигательного синдрома [1–3] была разработана система физических упражнений, включающая как главный, обязательный элемент беговые упражнения в интервальном режиме с притягом, т.е. с имитацией опорных нагрузок, сопоставимых с таковыми на Земле (до 70% от веса тела) для стимуляции опорных зон стоп, “запускающих” нормальное функционирование системы моторного контроля и, собственно, мышечного аппарата [4–7]. Помимо этого, физические упражнения включают обязательные силовые упражнения для поддержания силовых возможностей мышц, а также велоэргометрические упражнения в режиме, обеспечивающем тренировку сердечно-сосудистой системы [8]. Кроме физических упражнений в российскую систему профилактики входят дополнительные средства, которые могут применяться как совместно с упражнениями для усиления эффектов, так и отдельно в качестве нагрузочных устройств в случае невозможности

выполнения упражнений. Очевидно, что для специфических условий космического полета требуется разработка специальных нагрузочных устройств. Так, система “притяга” дает космонавту возможность оставаться на полотне дорожки при выполнении беговых упражнений, специализированные силовые тренажеры позволяют выполнять силовые упражнения без использования нагружения свободными весами (“блины” при упражнениях со штангой). Приходится также учитывать требования безопасности работы внутри космического корабля, в частности, предъявляются высокие требования к виброизоляции нагрузочных устройств. Поэтому создание нагрузочных и дополнительных профилактических устройств – это совместная работа инженеров и физиологов. Умение Инесы Бенедиктовны Козловской обосновать требования физиологов позволяло поставить работу таким образом, чтобы инженеры не только не пренебрегали советами, но и настаивали на совместных разработках исходной документации и совместных испытаниях.

2 ноября 2000 г. была запущена в эксплуатацию Международная космическая станция (МКС). На станцию прибыл первый международный экипаж. К прилету первого экипажа в Российском сегменте (РС) станции были установлены российские средства профилактики, в основном заимствованные с орбитальной станции “МИР”:

велотренажер “ВБ-3”; электромиостимулятор “Тонус-3”; профилактический нагрузочный костюм (ПНК) “Пингвин-3”, позволяющий избирательно нагружать различные группы мышц за счет работы специальных резиновых тяжей; комплект “Чибис” для оценки и тренировки способности к удержанию артериального давления при характерном для земных условий перераспределении крови в организме при изменениях положения тела; комплект эспандеров для силовых упражнений и американская бегущая дорожка *TVIS*.

В 1999 г. на Институт медико-биологических проблем РАН (ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва) была возложена обязанность по созданию средств профилактики для российского сегмента МКС. Инеса Бенедиктовна, отвечающая за эту программу, как человек целеустремленный, постоянно ищущий, наполненный новыми идеями, предложил направления разработки и модернизации средств профилактики и началась многолетняя совместная работа, в которой И.Б. Козловская убедительно доносила свои идеи до инженеров, которые их успешно реализовывали. Несмотря на свою занятость в научных проектах института, она активно участвовала в создании тренажеров для экипажей МКС на всех стадиях создания изделий – от разработки технических заданий и заканчивая испытаниями опытных образцов.

За 20 лет успешной кооперации инженеров и физиологов института были разработаны, отработаны на Земле и доставлены на борт МКС российские высокочастотный и низкочастотный электромиостимуляторы для поддержания соответственно силовых и аэробных возможностей мышц – комплекты “Стимул-01 ВЧ” и “Стимул-01 НЧ”, силовой нагрузочный (комплект “НС-1М”) для резистивных тренировок, модифицированный нагрузочный костюм “Пингвин-3” с системой измерения нагрузок, тренажер “Бегущая дорожка БД-2”. Для проведения модельных наземных экспериментов с беговыми нагрузками на базе ГНЦ РФ – ИМБП РАН был создан и введен в эксплуатацию стенд-подвеска для тренажера “Бегущая дорожка БД-2” с системой виброизоляции.

Ключевое положение в системе профилактики занял тренажер “Бегущая дорожка БД-2”, который был установлен на российском сегменте МКС вместо американской бегущей дорожки *TVIS*. Как любое новое средство, не прошедшее достаточного объема наземных испытаний, в первых полетах американская бегущая дорожка *TVIS*, изначально установленная на российском сегменте МКС, не обеспечивала стабильного выполнения программы физических тренировок. В ходе экспедиций с МКС-1 по МКС-6 дорожка не эксплуатировалась в течение 87 дней, что было связано как с отказами виброизоляционной си-

стемы *VIS* (8 дней), так и самой бегущей дорожки *Treadmill* (79 дней). В работе *TVIS* постоянно возникали ограничения, касавшиеся не только основных характеристик работы тренажера, скоростей бега и величины, создаваемой при беге продольной осевой нагрузки на тело космонавта, но и режимов его эксплуатации.

Такая ситуация с эксплуатацией ключевого средства профилактики не могла устраивать ответственного за систему профилактики на борту МКС – Инесу Бенедиктовну Козловскую. Необходимо было кардинально решить проблему – разработать и установить на российский сегмент МКС российскую бегущую дорожку. На пути решения этой задачи было много организационно-технических и методических проблем: не только разработать тренажер и систему виброизоляции для тренажера, чтобы соблюсти требования к микрогравитации на МКС, но и добиться разрешения на установку российской бегущей дорожки в российском сегменте МКС. Было необходимо провести в полном объеме наземную отработку тренажера в комплексе с системой виброизоляции, а значит разработать наземный стенд-подвеску для тренажера “Бегущая дорожка БД-2” и провести физиологические испытания на стенде (рис. 1).

В результате проведенных совместных работ в 2013 г. в служебном модуле МКС был установлен тренажер “Бегущая дорожка БД-2”, который успешно эксплуатируется экипажами и в настоящее время. Впервые, по рекомендациям Инесы Бенедиктовны, в российских бегущих дорожках было реализовано измерение опорных реакций при ходьбе и беге, запрограммированы циклограммы выполнения трехдневных тренировок, а также обеспечена возможность бега в свободном режиме и возможность создания личной циклограммы тренировки. Ежедневно осуществлялся сброс на Землю регистрируемых результатов тренировок.

Появление на борту силового нагрузочного “НС-1М” также имело свою историю. В свое время “СКБ ЭО” (Специализированное конструкторское бюро экспериментального оборудования при ИМБП РАН, г. Москва) был создан опытный образец тренажера “ТКМ-1”, который обеспечивал выполнение разносторонних физических тренировок: ходьбы и бега, силовых упражнений и тренировок на велотренажере. Тренажер “ТКМ-1” использовали в наземном эксперименте, однако доставка такого комплексного тренажера на МКС была невозможна из-за отсутствия места на российском сегменте для его размещения. Для обеспечения проведения силовых тренировок в состав тренажера “ТКМ-1” входили электромагнитные муфты. На РС МКС в тот момент для проведения силовых тренировок российских космонавтов использовали эспандеры. Инеса Бенедиктовна предложила на базе электромагнитных

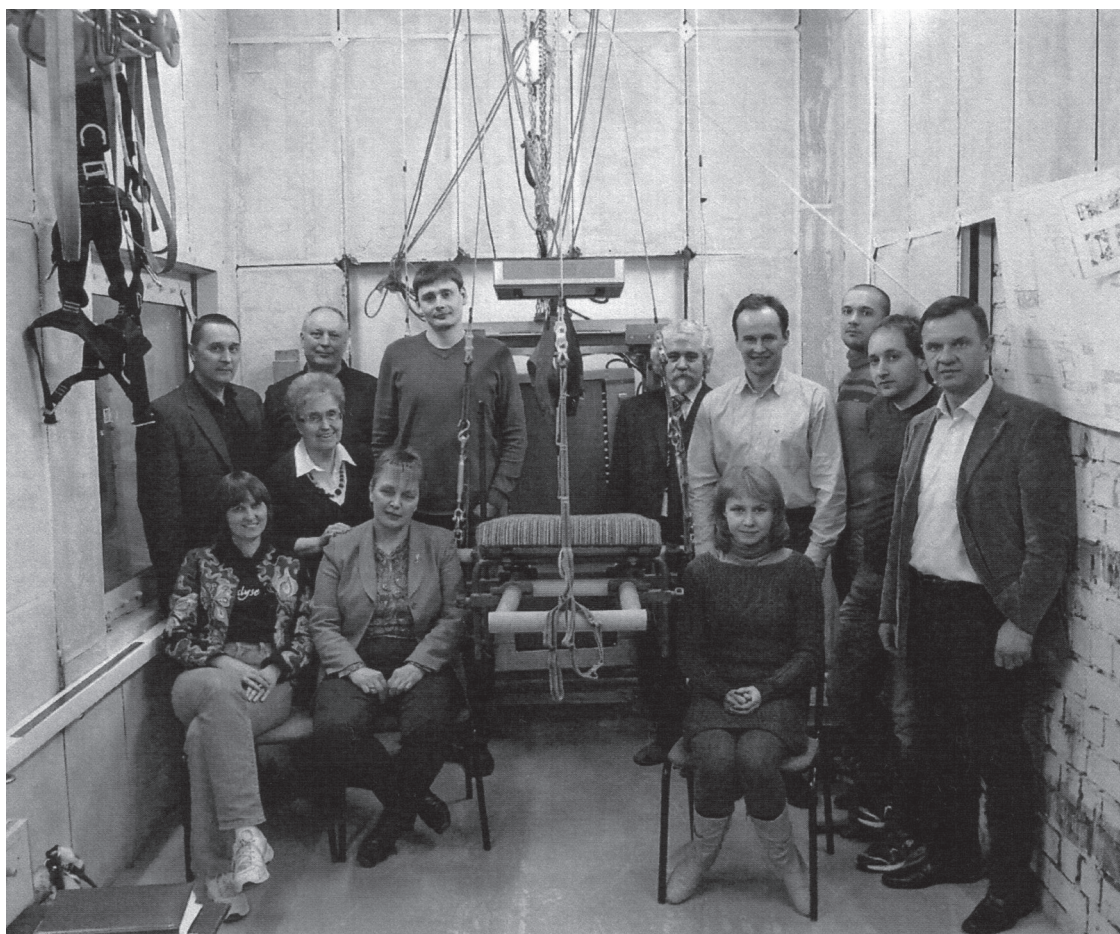


Рис. 1. Команда инженеров и физиологов на физиологических испытаниях тренажера “БД-2” в Самаре.

муфт создать комплект силовых нагрузителей, а в связи с отсутствием места для размещения их на РС МКС – разместить силовые электромагнитные муфты на раме велотренажера “ВБ-3”, дополнив их пультом управления и блоком управления, также размещаемых на велотренажере. Так на РС МКС появился нагрузитель силовой “НС-1М”, обеспечивающий выполнение силовых тренировок космонавтов с величиной нагрузки до 70 кг (рис. 2).

Профилактический нагрузочный костюм ПНК “Пингвин-3”, предназначенный для компенсации дефицита нагрузки на скелетно-мышечную систему, позволял изменять натяжение эластичных тяг по субъективным ощущениям. Эффективность костюма в профилактике развития негативных изменений в скелетно-мышечной системе была показана на стадии его разработки: амплитуда ЭМГ-активности мышц ног в ходе осуществления велоэргометрии достоверно возрастала; при выполнении велоэргометрического теста со ступенчатой нагрузкой применение костюма увеличивало метаболическую стоимость усилий на 20–30% [9]. В более поздних исследованиях было

показано, что применение костюма “Пингвин-3” в ходе 5-суточной опорной разгрузки в большой мере предотвращало развитие гипогравитационной гиперрефлексии, изменений микроциркуляции, увеличение длины тела, развитие синдрома боли в спине, атонии мышц спины, а также снижение скоростно-силовых свойств мышц нижних конечностей [10–12].

Положительные эффекты от костюма “Пингвин” были обнаружены также и в условиях другой модели физиологических эффектов микрогравитации – при проведении 60-суточной антиорто-статической гипокинезии (АНОГ) ежедневно в течение 8 ч. Каждый час испытуемые выполняли упражнения по сгибанию-разгибанию ног в коленном суставе. Результаты 60-суточной АНОГ с использованием костюма сравнивали с данными 120-суточной АНОГ без его использования и отметили, что в контрольной группе на 60-е сут АНОГ наблюдается уменьшение размеров мышечных волокон (на 14.2% у волокон медленного типа и 12.4% – у волокон быстрого типа), при этом у группы испытуемых, использующих ко-



Рис. 2. Проведение физиологических испытаний комплекта “НС-1М”.

стюм “Пингвин”, данных изменений обнаружено не было [13]. Применение костюма аксиальной нагрузки “Пингвин” на фоне как 2-месячной, так и 4-месячной АНОГ предотвращало атрофию медленных скелетных волокон камбаловидной мышцы [14]. В результате, И.Б. Козловская поставила перед инженерами задачу модифицировать ПНК “Пингвин-3”, укомплектовав его системой объективной регистрации нагрузки. В последствии костюм успешно прошел испытания на борту МКС и в состав бортовых средств был включен модифицированный вариант костюма аксиального нагружения “Пингвин-3 СИН”, снабженный системой объективной регистрации нагрузки, при этом были испытаны эффекты нагрузок, распределение которых по звеньям тела различались как по величине, так и по направленности. Было показано, что в режиме асимметричной нагрузки с большим нагружением тяг передней половины тела, космонавт, стараясь сохранить вертикальное положение, поддерживает постоянное напряжение в мышцах спины, задней

поверхности бедер и голей, что создает в них значительный тренировочный эффект.

Еще одним “пассивным” средством профилактики является электростимуляция скелетных мышц, основанная на восстановлении нормального уровня электрической активности мышц за счет применения электрического тока с параметрами импульсации, характерными для паттерна иннервации быстрых (50–60 Гц) или медленных (10 Гц) двигательных единиц. В 70-е гг. XX века в СССР проводили исследования эффектов электростимуляции на фоне длительной постельной гипокинезии. Так, в двух сериях исследований оценивали эффективность электростимуляционной тренировки с помощью аппарата “Тонус-2” [15]. В первой серии в ходе 49-суточной гипокинезии в 2-х группах испытуемых, каждая по 4 чел., применяли 2 различных режима электромиостимуляции, а испытуемые третьей, контрольной группы находились в условиях гипокинезии без дополнительных воздействий. У испытуемых контрольной группы в *m. soleus* было обнаружено достоверное снижение площади поперечного сечения мышечных волокон всех типов, тогда как у



Рис. 3. Проведение сравнительных испытаний американского велотренажера *CEVIS* и российского велотренажера “ВБ-3” в Хьюстоне.

добровольцев, применявших электромиостимуляционную тренировку, размер мышечных волокон не менялся или даже возрастал.

Эффекты низко- и высокочастотной электромиостимуляции мышц ног исследовались в целой серии модельных экспериментов в условиях “сухой” иммерсии (СИ). Эти исследования продемонстрировали, что ежедневное использование низкочастотной стимуляции может противодействовать снижению скоростно-силовых свойств трехглавой мышцы голени, особенно при достаточно высокой интенсивности стимуляции (более 13 В). Сравнительная оценка эффективности низкочастотной стимуляции мышц нижних конечностей, по сравнению с высокочастотной стимуляцией в течение 7-дневной СИ, показала превосходство низкочастотной стимуляции в профилактике двигательных дисфункций [16, 17]. В ходе этих экспериментов положительные эффекты нейромышечной электростимуляции также были связаны с разгрузкой правого сердца и выявлялись по показателям ЭКГ [18]. Применение высокочастотной электромиостимуляции оказывало положительный эффект на пищеварительную систему, предотвращая повышение уровня пепсиногена, панкреатической амилазы и билирубина,

а также увеличение секреции инсулина, однако не влияло на ультразвуковые картины гемодинамической перестройки как в печени, так и в брюшной полости [19].

Стимуляторы низкочастотный “Стимул-01-НЧ” и высокочастотный “Стимул-ВЧ”, предназначенные для профилактики мышечной детренированности и атрофии скелетных мышц, были разработаны и доставлены на РС МКС вместо электростимулятора “Тонус-3”. Еще на станции “МИР” Инесой Бенедиктовной совместно с австрийскими коллегами была отработана методика низкочастотной стимуляции, обеспечивающей поддержание аэробных возможностей и выносливости мышц [20, 21]. Комплект “Стимул-01 НЧ” — это носимый электромиостимулятор, предназначенный для тренировки мышц нижних конечностей и спины и позволяющий космонавтам проводить электромиостимуляционную тренировку без отрыва от проведения рабочих операций. Комплект “Стимул-ВЧ” является высокочастотным электромиостимулятором и предназначен для раздельной электромиостимуляции мышц нижних и верхних конечностей, спины и шеи космонавта, обеспечивая тренировочный и восстановительный режимы мышц по определен-

ным программам. Активное участие Инесы Бенедиктовны позволило создать комплект “Стимул-01-НЧ” в рекордные для разработки аппаратуры сроки – 3 года.

В результате этих работ на борту МКС были сформированы и эксплуатируются в настоящее время активные и пассивные средства профилактики, которые дополняют друг друга, обеспечивая сохранение здоровья и работоспособности космонавтов.

В последние годы коллективами инженеров и физиологов ИМБП начаты работы по созданию российского силового тренажера, который обеспечивает не только резистивные тренировки космонавтов с величинами нагрузок до 250 кг, но и тестирование силовых свойств мышц.

Инеса Бенедиктовна была членом международной группы по профилактике ММОР, какое-то время, являясь ее председателем. Хотя группа по своим функциональным обязанностям является медицинской, Инеса Бенедиктовна добилась включения в нее инженеров ГНЦ РФ – ИМБП РАН и Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина. На протяжении 20 лет мы вместе работали в международной группе по профилактике. И.Б. Козловскую интересовали не только методические вопросы, но и возможности средств профилактики, разработанных партнерами. Так, по ее настойчивым требованиям перед поставкой на МКС, были проведены наземные физиологические испытания американской бегущей дорожки *TVIS*, совместно проведены сравнительные физиологические испытания американского велотренажера *CEVIS* и российского велотренажера “ВБ-3М”, на американской летающей лаборатории КС-135 был отработан российский притяг для бегущей дорожки (рис. 3).

У международных партнеров Инесы Бенедиктовны пользовалась огромным авторитетом, она делилась своим опытом и знаниями, поэтому беседы проходили по многу часов. Не раз можно было увидеть очередь из желающих встретиться с ней. У нее хватало сил и времени не только активно участвовать в разработке и модернизации средств профилактики, но и на внедрение разработанных бортовых методик и средств в земную медицину. Так, были созданы и внедрены в практику нейрореабилитации костюм “Регент” (ООО ЦАМ Т, г. Москва), лечебный низкочастотный электромиостимулятор, механический стимулятор опорных зон стоп “Корвит”. Планы Инесы Бенедиктовны Козловской были направлены на развитие средств профилактики при полетах на Луну и Марс. Они заключались в методической отработке компенсатора опорной нагрузки, который в настоящее время используется в космическом эксперименте “Профилактика-2”, создании костюма (мягкого мультимодального экзоскелетона), объединяющего методику низко-

частотной электромиостимуляционной тренировки с методикой компенсации дефицита нагрузок на скелетно-мышечную систему, создании так называемого виртуального тренера, разработке экзоскелета (экзоскелета) с функцией адаптивного воздействия на целевые мышцы пользователя. Инеса Бенедиктовна упрямо смотрела в будущее, несмотря на свои 90 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kozlovskaya I., Dmitrieva I., Grigorieva L. et al.* Gravitational mechanisms in the motor system. Studies in real and simulated weightlessness / Stance and Motion // Eds. Gurfinkel V. S., Ioffe M.Y., Massion J. New York, NY: Plenum, 1988. P. 37.
2. *Козловская И.Б.* Гравитационные механизмы в двигательной системе / Современный курс классической физиологии. Избранные лекции // Под ред. Наточина Ю.В., Ткачука В.А. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. С. 1.
3. *Григорьев А.И., Козловская И.Б., Шенкман Б.С.* Роль опорной афферентации в организации тонической мышечной системы // Росс. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2004. Т. 90. № 5. С. 507.
4. *Kozlovskaya I.B., Sayenko I.V., Sayenko D.G. et al.* Role of support afferentation in control of the tonic muscle activity // *Acta Astronaut.* 2007. V. 60. № 4–7. P. 285.
5. *Козловская И.Б., Ярманова Е.Н., Фомина Е.В.* Российская система профилактики: настоящее и будущее // *Авиакосм. и эколог. мед.* 2013. Т. 47. № 1. С. 13.
Kozlovskaya I.B., Yarmanova E.N., Fomina E.V. [Russian system of countermeasures: the present and future] // *Aviakosm. Ekolog. Med.* 2013. V. 47. № 1. P. 13.
6. *Kozlovskaya I.B., Yarmanova E.N., Yegorov A.D. et al.* Russian Countermeasure Systems for Adverse Effects of Microgravity on Long-Duration ISS Flights // *Aerosp. Med. Hum. Perf.* 2015. V. 86. № 12. P. 24.
7. *Фомина Е.В., Лысова Н.Ю., Савинкина А.О.* Осевая нагрузка при выполнении локомоторных тренировок в условиях невесомости как фактор эффективности профилактики гипогравитационных нарушений // *Физиология человека.* 2018. Т. 44. № 1. С. 56.
Fomina E.V., Lysova N.Yu., Savinkina A.O. Axial load during performing locomotor training in microgravity as a factor of hypogravity countermeasure efficiency // *Human Physiol.* 2018. V. 44. № 1. P. 47.
8. *Григорьев А.И., Дитлайн Л.Ф., Козловская И.Б., Соуин Ч.Ф.* Профилактические мероприятия в кратковременных и длительных космических полетах / *Косм. Биол. и Мед.* Т. IV. Здоровье, работоспособность, безопасность космических экипажей. М.: Наука, 2002. Т. 4. С. 252.
Grigoriev A.I., Kozlovskaya I.B., Sawin C.F., Mueller S.A. Countermeasures to Short-Term and Long-Term Space Flight / *Space Biology and medicine.* V. IV. Health, Performance, and Safety of Space Crews. The American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. P. 157.
9. *Барер А.С., Козловская И.Б., Тихомиров Е.П. и др.* Влияние профилактического нагрузочного костю-

- ма “Пингвин” на метаболизм человека при движениях // *Авиакосм. и эколог. мед.* 1998. Т. 32. № 4. С. 4.
- Barer A.S., Kozlovskaya I.B., Tikhomirov E.P. et al.* [Effect of loading suit “Penguin” on human metabolism during movements] // *Aviakosm. Ekolog. Med.* 1998. V. 32. № 4. P. 4.
10. *Шигуева Т.А., Закирова А.З., Томиловская Е.С., Козловская И.Б.* Влияние аксиального костюма “Пингвин” на характеристики спинального рефлекса в условиях безопорности / *Материалы конф. XI Междунар. научно-практич. конф. “Пилотируемые полеты в космос”. Звездный городок, Моск. обл., 10–12 ноября 2015.* С. 483.
 11. *Tomilovskaya E.S., Rukavishnikov I.V., Shigueva T.A. et al.* Role of axial and support unloading in development of hypogravitational motor syndrome / *39th ISGP Meeting & ESA Life Sciences Meeting, Noordwijk, Netherlands.* 2018.
 12. *Суворов А.В., Памова А.П., Федорович А.А.* Особенности микроциркуляции в условиях “сухой” иммерсии // *Авиакосм. и эколог. мед.* 2017. Т. 51. № 6. С. 32. *Suvorov A.V., Pamova A.P., Fedorovich A.A.* [Specifics of microcirculation in the conditions of “Dry” Immersion] // *Aviakosm. Ekolog. Med.* 2017. V. 51. № 6. P. 32.
 13. *Шенкман Б.С., Виноградова О.Л., Мазин М.Г. и др.* Физиологическая стоимость физической нагрузки и объем митохондрий рабочих мышц у людей в условиях длительной гипокинезии. эффекты резистивных локальных нагрузок // *Физиология человека.* 2003. Т. 29. № 2. С. 75. *Shenkman B.S., Vinogradova O.L., Mazin M.G. et al.* Physiological Cost of Physical Exercise and Mitochondrial Volume in Working Muscles of Subjects Exposed to Long-Term Hypokinesia: Effects of Local Resistance Exercise // *Human Physiology.* 2003. V. 29. № 2. P. 195.
 14. *Ohira Y., Yoshinaga T., Ohara M. et al.* Myonuclear domain and myosin phenotype in human soleus after bed rest with or without loading // *J. Appl. Physiol.* 1999. V. 87. № 5. P. 1776.
 15. *Черепашин М.А., Какурин Л.И., Ильина-Какуева Е.И., Федоренко Г.Т.* Оценка эффективности электростимуляции мышц в профилактики расстройств, связанных с длительным ограничением двигательной активности у человека // *Косм. биол. и авиакосм. мед.* 1977. Т. 11. № 2. С. 64.
 16. *Koryak Y.A., Kozlovskaya I.B., Khimoroda N.N.* Low-frequency neuromuscular electrical stimulation training of human skeletal muscles in conditions of gravitational unloading // *Eur. J. Nat. Hist.* 2008. № 1. P. 86.
 17. *Козловская И.Б.* Фундаментальные и прикладные проблемы иммерсионных исследований // *Авиакосм. и эколог. мед.* 2008. Т. 42. № 5. С. 3. *Kozlovskaya I.B.* [Fundamental and applied problems of immersion studies] // *Aviakosm. Ekolog. Med.* 2008. V. 42. № 5. P. 3.
 18. *Ешманова А.К., Иванов Г.Г., Кабулова А.З. и др.* Показатели ЭКГ высокого разрешения и дисперсионного картирования ЭКГ при воздействии амлодипина и миостимуляции на фоне 7-суточной “сухой” иммерсии // *Авиакосм. и эколог. мед.* 2009. Т. 43. № 1. С. 40. *Eshmanova A.K., Ivanov A.Z., Kabulova A.Z.* [ECG high resolution and dispersion ECG mapping under the influence of amlodipine and myostimulation against a background of a 7-day Dry Immersion] // *Aviakosm. Ekolog. Med.* 2009. V. 43. № 1. P. 40.
 19. *Соловьева А.А., Седова Е.А., Томиловская Е.С. и др.* Функциональная активность печени в условиях иммерсии и влияние на нее средств профилактики // *Авиакосм. и эколог. мед.* 2014. Т. 48. № 2. С. 16. *Solovieva A., Sedova E., Tomilovskaya E. et al.* Functional activity of the liver under the conditions of immersion and effects of the countermeasures // *Human Physiology.* 2016. V. 42. № 7. P. 740.
 20. *Mayr W., Freilinger G., Rafolt D. et al.* Functional Electrical Stimulation (FES) as a Countermeasure against Muscular Atrophy in Long-Term Space Flights – First Application on Board of MIR-Station / *IFESS 2000 and NP 2000 Proceedings: 5th Annual Conference of the International Functional Electrical Stimulation Society and 6th Triennial Conference “Neural Prostheses: Motor Systems”.* 2000. Aalborg, Denmark. P. 27.
 21. *Rafolt D., Mayr W., Freilinger G. et al.* Functional electrical stimulation (FES) to prevent muscular atrophy in long-term space flights // *Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik.* 2009. V. 45. № 1. P. 279.

Development and Improvement of Countermeasure Means Against Negative Effects of Weightlessness in Long-Term Space Flights on International Space Station

E. N. Yarmanova*

Institute of Biomedical Problems, RAS, Moscow, Russia

*E-mail: zhana@imbp.ru

The paper describes the history of development and improvement of the means of the Russian system of countermeasure of negative effects of space flights over the past two decades, and contributions from I.B. Kozlovskaya in this direction. The results of physiological tests of the efficacy of new and upgraded means under the conditions of ground-based model experiments and the perspectives for the development of the countermeasure system are described.

Keywords: countermeasure means, training devices, International Space Station, weightlessness, physiological testing.