

УДК 612.014.464

## МЕТОД ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ЛИЧНОГО СОСТАВА К РАБОТЕ В ГЕРМООБЪЕКТАХ С ГИПОКСИЧЕСКОЙ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОЙ СРЕДОЙ

<sup>1</sup>А. Т. Логунов, <sup>1</sup>В. И. Гришин, <sup>1</sup>Н. Б. Павлов, <sup>2</sup>Т. Е. Кузнецова, <sup>3</sup>О. А. Забедовская

<sup>1</sup>ЗАО «Специальное конструкторское бюро экспериментального оборудования при Институте медико-биологических проблем РАН», г. Химки, Россия

<sup>2</sup>Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

<sup>3</sup>ФГБУ Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий, г. Химки, Россия

## A METHOD FOR PRE-TRAINING OF NAVAL CREWS TO WORKING IN SEALED SPACES FILLED WITH HYPOXIC FIREPROOF MEDIA

<sup>1</sup>A. T. Logunov, <sup>1</sup>V. I. Grishin, <sup>1</sup>N. B. Pavlov, <sup>2</sup>T. Ye. Kuznetsova, <sup>3</sup>O. A. Zabelskaya

<sup>1</sup>ZAO Special Design Office of Experimental Equipment, Institute of Medico-biological Problems, Russian Academy of Sciences, Khimki, Russia

<sup>2</sup>N. I. Pirogov National Medical Research Institute, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Federal Clinical Research Center of Specialized Medical Care and Medical Technologies, Khimki, Russia

© Коллектив авторов, 2016 г.

В статье описывается изучение эффективности метода интервальной гипоксической тренировки специального контингента оригинальным методом с использованием биологической обратной связи и заменой газа-разбавителя кислорода с азота на гелий. Тренировка проводилась в преддверии пребывания испытуемых в искусственной гипоксической пожаробезопасной газовой среде в барокамере как в нормобарических условиях, так и под давлением. Для дыхания использовалась в гипоксической фазе смесь, состоящая из 93 об.% He и 7 об.% O<sub>2</sub>; в фазе восстановления — из 70 об.% He и 30 об.% O<sub>2</sub>. После фаз гипоксического воздействия оценивалась длительность восстановления частоты сердечных сокращений (ЧСС) и насыщения гемоглобина кислородом, измеренного пульсоксиметрическим методом (SpO<sub>2</sub>). После проведения интервальной гипоксической тренировки оценивалась физическая работоспособность и величина анаэробного порога, проводилась оценка зрительных функций методом пространственной контрастной чувствительности и оценка скорости сенсомоторных реакций. В результате проведенных исследований выявлена положительная динамика в восстановлении SpO<sub>2</sub> и ЧСС после острого гипоксического воздействия, повышение работоспособности и анаэробного порога и улучшение контрастной световой чувствительности сетчатки. Также в ходе тренировки выявлено увеличение показателя «уровень функциональных возможностей по Т. Д. Лоскутовой» на 15,1% и увеличение скорости простой зрительно-моторной реакции на 6,95%. Рассматриваемый метод воздействия рекомендован в качестве основы для разработки целевых частных методик проведения интервальной гипоксической тренировки.

**Ключевые слова:** гипоксическая пожаробезопасная среда, специальный контингент, интервальная гипоксически-гипероксическая тренировка, подогреваемые кислородно-гелиевые смеси, адаптивная биологическая обратная связь, адаптация к гипоксии, показатели жизненных функций организма, аппаратный комплекс для дыхательных тренировок, экспериментальные исследования.

Hypoxic conditioning of special task-force personnel was carried out using an original approach based on biological feedback under conditions of using helium instead of nitrogen for oxygen dilution. Conditioning was carried out prior to placing test subjects into an artificial hypoxic fireproof medium in a

pressurized sealed chamber. The hypoxic breathing medium consisted of 93% v/v He and 7% v/v O<sub>2</sub> in the conditioning phase and of 70% v/v He and 30% v/v O<sub>2</sub> in the restoration phase. Test parameters were the times required to normalize heartbeat, blood hemoglobin oxygenation (SpO<sub>2</sub>) measured by pulse oximetry, physical performance, anaerobic threshold, visual functions assessed by spatial contrast sensitivity, and sensorimotor responses. Positive changes in the restoration of all test parameters after acute hypoxia were found. Functional performance assessed as suggested by T.D. Loskutova was improved by 15,1%, and simple visuomotor responses were accelerated by 6,95%. The approach is recommended for further developing of targeted particular techniques of discontinuous hypoxic conditioning.

**Key words:** hypoxic fireproof medium, discontinuous hypoxic-hyperoxic conditioning, heated oxygen-helium mixtures, adaptive biological feedback, adaptation to hypoxia, indices of vital functions, outfit complexes for respiratory raining, experimental study.

**Введение. Общие положения.** Одной из актуальных составляющих комплекса проблем обеспечения жизнедеятельности в гермообъектах специального назначения является проблема пожаробезопасности, особо сложная для нормобарической среды постоянного пребывания. К настоящему времени доказаны перспективность и техническая возможность решения этой проблемы путем использования в обитаемых гермообъектах искусственных гипоксических многокомпонентных газовых сред, безопасных для продолжительного пребывания в них людей в условиях нормобарии.

Очевидно, что применение в обитаемых объектах газовой среды, отличающейся от атмосферного воздуха, может быть признано безопасным, если в течение заданного времени пребывания в ней у личного состава не только сохраняется жизнедеятельность, но и не снижаются физические и когнитивные способности ниже уровня, обеспечивающего возможность выполнения операторской деятельности по профессиональному назначению.

При использовании гипоксической пожаробезопасной среды проблемными являются вопросы обеспечения профессиональной деятельности, связанной с выполнением напряженной физической работы, значительными психофизиологическими нагрузками, длительным нахождением в замкнутом пространстве в состоянии напряженного ожидания (работа операторов при управлении сложными аппаратами, комплексами и системами).

Эти условия как при физической нагрузке, так и при гиподинамии на фоне психоэмоционального напряжения способствуют развитию астении и падению работоспособности. При этом в связи с выбросом катехоламинов в кровь и увеличением метаболической потребности тканей в кислороде, резко повыша-

ется кислородный запрос, приводящий к возникновению тканевой гипоксии. К возникновению гипоксии регионального характера приводят также необходимость поддержания фиксированных рабочих поз, затрудняющих кровотоки и дыхание [1–6].

Одним из эффективных путей снижения рисков и повышения устойчивости функциональных систем организма при профессиональной деятельности в условиях воздействия комплекса перечисленных неблагоприятных факторов является предварительное формирование у личного состава адаптации к гипоксии [7–12]. При этом наиболее действенными немедикаментозными средствами для этого являются курсы дыхательных тренировок, в сеансах которых чередуются дыхания гипоксическими и нормооксическими газовыми смесями (интервальные гипоксические тренировки — ИГТ).

Многочисленные исследования в области ИГТ [2, 7, 9, 11, 13–20] доказали, что при адекватном построении процесса предварительной адаптации к гипоксии потенцируется развитие последующей адаптации к гипоксической гипоксии и гипоксии нагрузки.

Более того, варьируя параметры ИГТ, можно добиться необходимой степени избирательного воздействия на основные физиологические функции организма и направленно влиять на отдельные стороны обмена веществ [8, 21–30].

К настоящему времени наибольшее распространение получили методы ИГТ с использованием для гипоксического воздействия дыхательных газовых смесей (ДГС) с пониженным содержанием кислорода, получаемого из атмосферного воздуха с помощью мембранных, либо адсорбционных воздуходелительных установок. При этом подавляющее большинство методик проведения ИГТ строятся по единому алгоритму: фазы дыхания возду-

хом с низким содержанием кислорода чередуется с фазами дыхания атмосферным воздухом окружающей среды [16, 17, 21, 23, 31, 32]. Различия заключается лишь в концентрации кислорода в гипоксических фазах дыхания, продолжительности этих фаз, продолжительности каждого из сеансов, количества сеансов в курсе ИГТ, варьируются сочетания сеансов ИГТ с процессами выполняемой профессиональной деятельности.

**Базовые физиологические эффекты, методы и средства интервальных гипоксических тренировок.** Практика пребывания человека в условиях гипоксических сред (высокогорье, высотные полеты и др.) показывает, что формирование устойчивой адаптации к гипоксии происходит далеко не всегда даже при многократном и длительном воздействии гипоксического фактора. Для обеспечения тренирующего эффекта необходимо, чтобы гипоксический фактор имел интенсивность, достаточную для инициирования напряженных экстренных адаптивных реакций, адекватные продолжительность и частоту воздействия [1, 10, 16, 17]. Необходимо принимать во внимание, что формирование устойчивой адаптации к гипоксии достигается скоординированным взаимодействием приспособительных механизмов [31], мобилизация которых обеспечивает:

— достаточное поступление кислорода в организм путем гипервентиляции легких, гиперфункции сердца, увеличение кислородной емкости крови;

— увеличение кровотока (в тканях мозга, сердца и т. п.), облегчение кислородного потока между кровью и клетками за счет образования новых капилляров, изменения свойств матрикса и ферментных систем, а также увеличение концентрации миоглобина, что ведет к повышению способности клеток утилизировать кислород в аэробном цикле, несмотря на гипоксемию.

— увеличение способности клеток и тканей утилизировать кислород из крови и образовывать АТФ;

— увеличение анаэробного ресинтеза АТФ за счет активации гликолиза.

Уникальные возможности, способствующие активизации и созданию наиболее благоприятных условий функционирования перечисленных механизмов в процессе ИГТ, открываются при замене азота, составляющего основу ДГС в наиболее распространенных методах и средствах ИГТ, гелием, с использованием гипокси-

ческих и гипероксических кислородно-гелиевых смесей (КГС) с температурами, превышающими термонейтральный диапазон [20, 33–36]. Более того, тренировочный эффект обретает качественно иные возможности при управлении сменой и параметрами фаз гипоксического воздействия и восстановления посредством системы адаптивной биологической обратной связи. Такой вид тренировки далее по тексту именуется интервальной гипоксическо-гипероксической тренировкой подогреваемыми кислородно-гелиевыми смесями с адаптивной биологической обратной связью — ИГТТ ПКГС [37].

Установлено, что дыхание кислородно-гелиевой смесью в условиях гипоксии, благодаря физическим свойствам гелия (низкой плотности, высокой проникающей способности), способствует оптимизации газообмена, служит уменьшению работы дыхательной мускулатуры при гиперпноэ и облегчает регуляцию дыхания, за счет большего соответствия минутному состоянию дыхательной системы колебаний рН ликвора (напрямую зависящего от парциального давления углекислого газа в крови). Кислородно-гелиевые ингаляции также улучшают диффузию кислорода в респираторных бронхиолах, альвеолярных ходах и через аэрогематический барьер. Гелий способствует элиминации из организма газообразных токсичных веществ. Тепловое воздействие подогреваемой смеси с температурой в зоне вдоха 45–50° С приводит к стимуляции терморецепторов с последующим рефлекторным расслаблением гладкой мускулатуры бронхов, улучшению кровоснабжения легких [35, 36, 38–40]. При этом эффекты применения подогреваемых КГС в отношении основных систем организма проявляются в следующем.

1. Система дыхания:

— облегчение диффузионных составляющих внешнего дыхания;

— снижение турбулентности в бронхах проводящей зоны, снижение сопротивления вдоху.

2. Система кровообращения:

— уменьшение общего периферического сопротивления сосудистого русла;

— снижение давления в легочной артерии;

— увеличение кровотока в легких и верхних дыхательных путях.

3. Система терморегуляции:

— увеличение или уменьшение теплоотдачи, в зависимости от температуры дыхательной газовой смеси и от содержания кислорода.

#### 4. Центральная нервная система:

- уменьшение порогов возбуждения, реверсия анестезии;
- стимуляция когнитивных процессов.

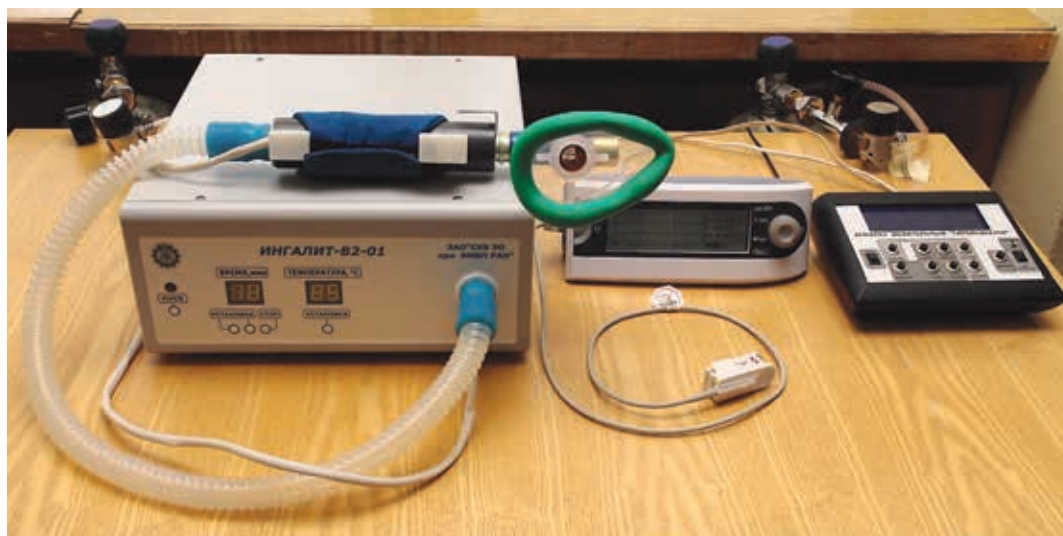
Указанные эффекты обеспечивают возможность улучшения качества адаптации к физическим нагрузкам, оптимизации психоэмоциональной сферы, состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем, существенного замедления подключения анаэробных процессов, увеличения резервов дыхательной системы для компенсации метаболических потребностей в кислороде при физической работе.

Таким образом, в качестве наиболее перспективного направления повышения эффективности ИГТ может рассматриваться внедрение в систему подготовки личного состава комби-

**Материалы и методы.** Апробации подвергались рекомендации базовой методики дыхательных интервальных тренировок, разработанной ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН», основанной на использовании метода интервальных гипоксически-гипероксических воздействий подогреваемыми кислородно-гелиевыми смесями на организм через систему внешнего дыхания.

Для проведения дыхательных тренировок применяется аппаратный комплекс с адаптивной биологической обратной связью, обеспечивающий безопасность проведения сверхострых гипоксических воздействий, созданный в ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН» [43].

Аппаратные средства, входящие в состав комплекса, разрешены для использования в лечебных учреждениях на территории РФ.



**Рис. 1.** Общий вид аппаратного комплекса с адаптивной биологической обратной связью

нированных методов дыхательных тренировок на фоне непрекращающейся профессиональной подготовки с использованием ИГТ ПКГС. Для реализации этого направления создан комплекс устройств и алгоритмов, обеспечивающих возможность и безопасность реализации методов ИГТ ПКГС в широком диапазоне гипоксических и гипероксических воздействий [7, 26, 37, 41–43].

**Цель:** оценка результативности использования ИГТ ПКГС в качестве метода предварительной подготовки личного состава, направленного на снижение рисков и повышение устойчивости организма к воздействию неблагоприятных факторов гипоксической пожаро-безопасной газовой среды при длительном пребывании в ней, в том числе при повышенном давлении.

Основа комплекса — аппарат «Ингалит-В2-01».

Управление аппаратным комплексом осуществляется с пульта управления. Пульт управления обеспечивает формирование управляющих сигналов, подаваемых на пневмораспределитель, для реализации алгоритма воздействий, включающего попеременные воздействия на систему внешнего дыхания подогретой кислородно-гелиевой гипоксической — гипероксической смесью и индикацию важнейших параметров тренировочного процесса.

Для формирования управляющих сигналов используются аналоговые сигналы с выхода пульсоксиметра по результатам измерения текущих значений  $SpO_2$  и ЧСС (канал адаптивной биологической обратной связи).

Продолжительность интервала каждого из гипероксических и гипоксических воздей-

ствий определяется индивидуальными физиологическими возможностями организма по скорости достижения порогов переключения подачи смесей, значения которых отображаются на дисплее пульта управления.

Необходимым и важнейшим условием эффективного использования метода ИГГТ ПКГС является тщательно отработанная и практически выверенная методика применения, адекватная однозначно понимаемому целевому назначению для конкретных видов профессиональной деятельности и этапов подготовки личного состава, основанная на базовых понятиях эффектов гипоксических воздействий и специфических свойств КГС.

**Схема организации исследований.** Для повышения объективности оценок эффектов предварительной подготовки личного состава с использованием дыхательных тренировок проведены экспериментальные исследования с привлечением испытуемых различной профессиональной принадлежности.

При проведении исследований апробировался метод ИГГТ ПКГС с использованием экспериментального образца аппаратного комплекса с адаптивной биологической обратной связью, созданного ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН». Для дыхания использовалась в гипоксической фазе смесь, состоящая из 93 об.% Не и 7 об.%  $O_2$ ; в фазе восстановления — из 70 об.% Не и 30 об.%  $O_2$ .

Курс состоял из 20 сеансов, проводившихся ежедневно по два сеанса в день в двухнедельный период (сентябрь 2015 г). Продолжительности сеансов: первого — 25 мин, второго — 15 мин. Сила гипоксических воздействий в сеансах являлась функцией от задаваемых порогов  $SpO_2$  для переключения гипоксической и гипероксической смесей, подаваемых на дыхание.

К участию в этом блоке апробации были допущены лица, прошедшие медицинское освидетельствование в порядке, определенном методическими рекомендациями по проведению предварительных периодических медицинских осмотров (обследований) водолазов и других работников, работающих в условиях повышенного давления (утверждены ФМБА России 14 марта 2011 г.), не имеющие противопоказаний к участию в гипоксических тренировках. Группа из семи испытуемых была подобрана заведомо разнородной по степени подготовленности к гипоксическим нагрузкам: четверо испытуемых с опытом участия в барокамерных экспериментальных исследова-

ниях пожаробезопасной среды, двое действующих альпинистов с хорошей высотной гипоксической подготовкой и один профессиональный водолаз (средний возраст 35,8 года).

До начала курса ИГГТ ПКГС и после его завершения проводилась оценка испытуемых по физической работоспособности и способности восстановления (по показателю ЧСС) после физической нагрузки. Кроме того, проведена оценка зрительных функций методом пространственной контрастной чувствительности.

По завершению курса ИГГТ ПКГС проведен барокамерный эксперимент, в котором испытуемые пребывали на протяжении 144 часов в барокамере с гипоксической кислородно-азотно-аргоновой пожаробезопасной средой в условиях повышенного давления (20 м вод. ст.) с экскурсионным спуском на «глубину» 40 метров. В процессе барокамерного эксперимента проводились исследования сенсомоторных реакций и ЭЭГ.

**Результаты и их обсуждение.** 1. При проведении курса ИГГТ ПКГС на протяжении каждого сеанса проводилось интегральное оценивание вариаций устойчивости к гипоксии методами компьютерной мониторинговой пульсоксиметрии тренировки с последующим вычислением величин соотношения продолжительности пребывания в гипоксической фазе дыхания к времени, затраченному на восстановление организма по показателю  $SpO_2$ :

$U_{ГС} = \sum \tau_{Г1} / \sum \tau_{Вj}$  — величина, характеризующая устойчивость организма к гипоксии в сеансе ИГГТ ПКГС, измеренная по  $SpO_2$  за время сеанса, где:  $\tau_{Г1}$  — продолжительность фазы воздействия гипоксии,  $\tau_{Вj}$  — продолжительность фазы восстановления;  $U_{ГЦ} = \tau_{ГЦ} / \tau_{ВЦ}$  — величина, характеризующая устойчивость организма к гипоксии, измеренная по  $SpO_2$  в одном цикле «гипоксия–восстановление».

Для мониторинга применен компьютерный пульсоксиметр SAT 805, являющийся составной частью комплекса, обеспечивающий регистрацию сигнала с дискретностью 1 раз в две секунды и сохранение полученных данных в памяти прибора.

Дальнейшая компьютерная обработка данных позволяет оценивать средние параметры сатурации, проводить визуальный анализ оксиметрических трендов, выявлять десатурации, проводить качественный и количественный анализ десатураций.

Пример одного из результатов такой обработки приведен на рис. 2.

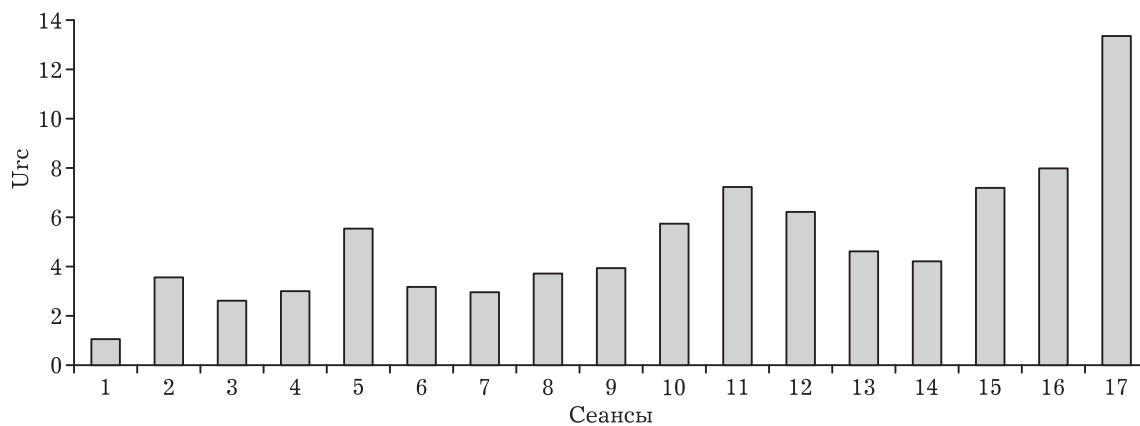


Рис. 2. Гистограмма вариации  $U_{гс} = \sum \tau_{гi} / \sum \tau_{вj}$  в курсе ИГГТ ПКГС

Сравнение пульсограмм позволило сделать выводы о корректности основных рекомендаций по построению протокола проведения ИГГТ ПКГС: визуально и инструментально отмечается существенное повышение устойчивости испытуемых к острой моделируемой гипоксии, что подтверждается достоверно меньшим снижением уровня сатурации гемоглобина  $O_2$  и повышения степени прироста ЧСС при повторных ГТ, снижаются «провалы» сатурации при фиксированном гипоксическом воздействии за пределы установленных порогов.

2. Анализ результатов медицинских обследований физической работоспособности испытуемых, проведенных до начала курса двухнедельной дыхательной тренировки и по его завершении выявил существенные индивидуальные различия среди разных категорий испытуемых. Вместе с тем, именно благодаря участию в эксперименте испытуемых тренированных и нетренированных к гипоксии стали более понятны различные пути перестройки организма в этих двух группах. В табл. 1 представлены результаты расчетов динамики тренированности по PWC170.

Таблица 1  
Уровень работоспособности испытуемых по PWC170 (Вт)

Испытуемый	До тренировок	После тренировок
Исп. 1	210	225
Исп. 2	180	195
Исп. 3	150	165
Водолаз	230	250
Исп. 4	210	205
Альп. 1	220	220
Альп. 2	210	210

Обращает на себя внимание, что у первых четырех испытуемых после гипоксическо-гипероксических тренировок физическая работоспособность повысилась в среднем на 15–20 Вт или на 7–10% по сравнению с исходным уровнем. Одновременно у лиц, наиболее тренированных к гипоксии (альпинисты), общая физическая работоспособность осталась без изменений.

Другим важнейшим критерием физической работоспособности являлся анаэробный порог (АП). Выявлено, что у нетренированных лиц он не изменился или почти не изменился, тогда как у тренированных к гипоксии людей он повышался после гипоксическо-гипероксических тренировок в большей степени, что отражало повышение возможностей организма (табл. 2).

Таблица 2  
Мощность физической работы во время достижения АП (Вт)

Испытуемый	До тренировок	После тренировок
Исп. 1	120	120
Исп. 2	135	135
Исп. 3	135	120
Исп. 4	120	195
Водолаз	180	195
Альп. 1	165	180
Альп. 2	150	195

Восстановительный период характеризовался некоторым ускорением нормализации ЧСС после нагрузочных тестов: на 10-й минуте ЧСС в среднем была на 9,8 ударов ниже по сравнению с фоном (до тренировок), что составило 11%.

Таким образом, физическая работоспособность, лимитированная сердечно-сосудистой системой, значительно повышается у нетренированных людей, тогда как у тренированных она сохраняет стабильность.

Вместе с тем, у тренированных лиц является дополнительная возможность использовать анаэробное дыхание при более высокой интенсивности физической работы.

3. При оценке зрительных функций методом пространственной контрастной чувствительности установлено, что в результате проведенного курса тренировок практически у всех испытуемых наблюдается повышение контрастной чувствительности к высоким пространственным частотам — 32–128 цикл/градус, а также к наиболее низким пространственным частотам — от 0,5 цикл/градус и ниже.

Повышение чувствительности к высоким пространственным частотам свидетельствует об улучшении зрительной работоспособности глаза, включающей остроту зрения в сочетании с улучшением мышечной стабилизации изображения в области центрального зрения сетчатки. Повышение чувствительности к низким пространственным частотам, которое требует сравнения яркостей близких объектов путем перевода глаз с точки на точку, свидетельствует о возрастании зрительной работоспособности на уровне коры головного мозга.

4. Исследование сенсомоторных реакций было направлено на выявление динамики физиологического состояния организма и сохранности навыков эффективной операторской деятельности в измененной газовой среде обитания, в том числе при давлении до 0,5 МПа, после проведенной предварительной подготовки методом ИГГТ ПКГС, а также их изменения в ходе тренировки.

Установлено, что такие сложные сенсомоторные механизмы, как «реакция выбора», «реакция различения», максимальный теппинг, физиологический тремор и мышечная выносливость, а также различие частоты мерцаний светодиода не изменяются в экспериментальных условиях.

Достоверных различий в динамике по результатам проведенного тестирования выявить не удалось. Полученные данные характеризуют флюктуации признака в пределах физиологической нормы. Тем не менее, при анализе данных, полученных при изучении простой зрительно-моторной реакции удалось выявить статистически значимые различия по сравнению с фоновыми показателями, а также статистически-значимые изменения в зависимости от этапов эксперимента.

Анализ данных, полученных при изучении простой зрительно-моторной реакции, выявил статистически значимые различия по сравнению с фоновыми показателями, а также статистически-значимые изменения в зависимости от этапов эксперимента. Так, по сравнению с фоновыми данными, за период тренировки время простой зрительно-моторной реакции снизилось в среднем на 6,95%.

В барокамере в интервале 2–4 часа после экскурсионного спуска в экспериментальной газовой среде среднее значение времени простой зрительно-моторной реакции у всех испытуемых увеличилось (в среднем на 7,5%), причем это замедление реакции сохранялось и через двое суток декомпрессии, хотя и со значимой тенденцией к восстановлению (время простой зрительно-моторной реакции на вторые сутки декомпрессии оставалось в среднем на 2,36% выше фоновых значений).

Достоверно различается в ходе тренировки и эксперимента и критерий «уровень функциональных возможностей», полученный по методике Т. Д. Лоскутовой, характеризующий способность удерживать созданную для выполнения задачи простой зрительно-моторной реакции функциональную систему. В ходе тренировки величина этого критерия возросла в среднем с 3,31 до 3,81 (15,1%).

В интервале 2–4 часа после экскурсионного спуска в экспериментальной газовой среде среднее значение «уровня функциональных возможностей» уменьшилось в среднем до 3,15 условных единиц (что на 17,3% меньше фонового значения). Через 1 сутки после имитации аварийной ситуации у всех испытуемых отмечено возрастание данного показателя до уровня, превышающего фоновые значения на 7,6%, с последующим спадом функциональных возможностей в среднем до 3,35 условных единиц к окончанию 2-х суток декомпрессии (на 12% ниже фоновых значений).

По результатам исследования ЭЭГ установлено, что проведение интервальных дыхательных тренировок оказало положительное влияние на функциональное состояние центральной нервной системы испытуемых, что отражалось в картине их ЭЭГ-паттерна.

**Выводы.** В результате апробации методов ИГГТ ПКГС установлено следующее.

1. Выполнение базовых методических рекомендаций при проведении предварительной подготовки личного состава с использованием

ИГГТ ПКГС обеспечивает возможность снижения рисков и повышения общей устойчивости организма к воздействию гипоксической пожаробезопасной газовой среды.

2. Длительное (более 144 часов) пребывание в гипоксической и гипероксической (по парциальному давлению кислорода) КААрСр в условиях гипербарии до 0,5 МПа (40 м вод. ст.) существенного влияния на психофизиологическое состояние человека не оказало.

Полученные данные можно расценивать как свидетельство возможности сохранения личным составом гермообъекта боеспособности и эффективной операторской деятельности в течение 144 часов пребывания в кислородно-азотно-аргоновой пожаробезопасной среде в условиях повышенного давления.

3. Установлено, что физическая работоспособность, лимитированная сердечно-сосудистой системой, вследствие воздействия ИГГТ ПКГС повышается на 10,7–11% у испытуемых без профессиональной физической подготовки.

При высоком уровне подготовки испытуемых физическая работоспособность сохраняет стабильность, при этом на 10,8–13% повышается анаэробный порог, чем обеспечивается дополнительная возможность использования анаэробного дыхания при более высокой интенсивности физической работы.

4. Выявлено увеличение в процессе воздействия ИГГТ ПКГС показателя «уровень функциональных возможностей по Т. Д. Лоскутовой» на 15,1% и повышение скорости простой зрительно-моторной реакции на 6,95%.

5. Доказаны эффекты воздействия ИГГТ ПКГС, способствующие улучшению работы зрительной системы, включая повышение остроты зрения в сочетании с улучшением мышечной стабилизации изображения в области центрального зрения сетчатки, повышению контрастной чувствительности к высоким пространственным частотам.

#### **Рекомендации.**

1. Базовая методика может быть рекомендована в качестве основы для разработки целевых частных методик проведения ИГГТ. При разработке частных методик использования ИГГТ ПКГС выбор параметров дыхательных смесей и режимов дыхания должен осуществляться строго исходя из целевого назначения тренировки с всесторонним учетом индивидуальных психофизиологических особенностей тренируемого и профиля его профессиональной деятельности.

2. При разработке методик тренировок, совмещенных с процессом учебно-боевой подготовки, необходима всесторонне взвешенная оценка возможных последствий тренирующих воздействий на системы организма оператора, которые лимитируют его военно-профессиональную работоспособность.

3. Сохраняется актуальность проведения системных исследований по отработке целевых профессионально ориентированных методик применения ИГГТ ПКГС и их апробации в различных областях профессиональной деятельности, для чего необходимо изготовить головную партию аппаратного комплекса ИГГТ ПКГС.

### **Литература**

1. Волков Н. И., Колчинская А. З. «Скрытая» (латентная) гипоксия нагрузки // Гипоксия Медикал.— 1993.— № 2.— С. 30–35.
2. Вторичная тканевая гипоксия / под общ. ред. А. З. Колчинской.— Киев: Наук. думка, 1983.— 256 с.
3. Малкин В. Б., Гиппенрейтер Е. Б. Острая и хроническая гипоксия.— М.: Наука, 1977.— 317 с.
4. Новиков В. С. Физиология летного труда.— СПб.: Наука, 1997.— 411 с.
5. Новиков В. С., Горанчук В. В., Шустов Е. Б. Физиология экстремальных состояний.— СПб.: Наука, 1998.— 247 с.
6. Пономаренко В. А. Теоретические предпосылки развития профилактической военной авиационной медицины // Воен-мед. журн.— 2005.— № 4.— С. 40–50.
7. Волков Н. И. Прерывистая гипоксия — новый метод тренировки, реабилитации и терапии // Теория и практика физической культуры.— 2000.— № 7.— С. 20–23.
8. Волков Н. И., Коваленко Е. А. Метаболические и эргогенические эффекты сочетанного применения интервальной тренировки и гипоксической гипоксии // Интервальная гипоксическая тренировка, эффективность, механизмы действия.— Киев, 1992.— С. 4–6.
9. Кондрашова М. Н. Функциональная гипоксия как фактор повышения мощности рабочего акта // Гипоксия нагрузки, математическое моделирование, прогнозирование и коррекция.— Киев: АН УССР, 1981.— С. 30.
10. Разолов Н. А., Чижов А. Я., Потиевский Б. Г., Потиевская В. И. Нормобарическая гипокситерапия. Методические рекомендации для авиационных врачей.— М., 2002.— 19 с.



11. *Советов В. И., Сапова Н. И.* «Способ повышения неспецифической резистентности организма человека». Патент РФ № 2238112 от 19.03.2003 г.
12. *Сокунова С. Ф.* Режимы интервальной гипоксической тренировки, используемые в качестве дополнительного тренировочного средства // Актуальные вопросы здравоохранения. Проблемы, поиски, решения: материалы 40-й науч.-практ. межрегион. конф. врачей.— Ульяновск, 2005.— С. 670–671.
13. *Волков Н. И.* Гипоксическая тренировка для реабилитации и профилактики заболеваний // Реабилитация и терапия в условиях курорта.— М., 1993.— С. 12–25.
14. *Волков Н. И., Коваленко Е. А. и др.* Метаболические и энергетические эффекты сочетанного применения интервальной тренировки и гипоксической гипоксии // Интервальная гипоксическая тренировка, эффективность, механизмы действия.— Киев, 1992.— С. 4.
15. *Глазачев О. С.* Новый подход к применению интервальных гипоксических тренировок в спорте // Спортивная медицина: наука и практика.— 2011.— № 1.
16. Интервальная гипоксическая тренировка: эффективность, механизмы действия / под ред. А. З. Колчинской.— Киев: ГИФК, «ЕЛТА», 1992.— 159 с.
17. *Колчинская А. З.* Интервальная гипоксическая тренировка в спорте высших достижений // Спортивная медицина.— 2008.— № 1.— С. 9–24.
18. *Левшин И. В., Поликарпочкин А. Н.* Перспективы применения кислородно-гелиевых смесей в спорте высших достижений // Ученые записки Университета им П. Ф. Лесгафта.— 2010.— № 4 (62).— С. 45–49.
19. *Меерсон Ф. З., Твердохлеб В. П., Боев В. М., Фролов Б. А.* Адаптация к периодической гипоксии в терапии и профилактике.— М.: Наука, 1989.— 70 с.
20. *Солодков А. С., Левшин И. В., Поликарпочкин А. Н.* Физиологические механизмы воздействия кислородно-гелиевых смесей на организм человека и обоснование их применения в адаптивной физической культуре // Адаптивная физическая культура.— 2010.— № 2 (42).
21. *Глазычев О. С.* Технологии коррекции психофизиологических функций и повышения резервов здоровья человека: Реализация принципов адаптивной медицины // Вестник международной академии наук (русская секция).— 2013.— № 1.— С. 45–54.
22. *Караш Ю. М., Стрелков Р. Б., Чижов А. Я.* Нормобарическая гипоксия в лечении, профилактике и реабилитации.— М.: Медицина, 1988.— 352 с.
23. *Коваленко Е. А.* Гипоксическая тренировка в медицине // Гипоксия Медикал.— 1993.— № 1.— С. 3–5.
24. *Коваленко Е. А. и др.* Импульсный метод активации адаптационных механизмов организма, лечения больных с различными заболеваниями // Интервальная гипоксическая тренировка, эффективность, механизмы действия.— Киев, 1992.— С. 103.
25. *Новиков В. С., Горанчук В. В., Шустов Е. Б.* Физиология экстремальных состояний.— СПб.: Наука, 1998.— 247 с.
26. *Логунов А. Т., Гришин В. И., Ильинская Е. А., Якимович Н. В., Городецкий И. Г.* Исследование влияния кислородно-гелиевой смеси на умственную работоспособность операторов в целях профилактики выраженного утомления в длительных полетах. Всероссийский институт научной и технической информации РАН // Проблемы безопасности полетов.— 2012.— № 5.— С. 4–20.
27. *Павлов Б. Н., Григорьев А. И., Логунов А. Т.* «Способ воздействия газовых смесей на организм». Патент РФ № 2232013 от 04.06.2001 г.
28. *Нудельман Л. М.* Интервальная гипоксическая тренировка в циклических видах спорта // Теория и практика физической культуры: Тренер — журнал в журнале.— 2006.— № 1.— С. 37–38.
29. *Павлов Б. Н., Григорьев А. И., Логунов А. Т.* «Способ воздействия газовых смесей на организм». Патент РФ № 2232013 от 04.06.2001 г.
30. *Платонов В. Н.* Гипоксическая тренировка в спорте // *Nuroxia Medical J.*— 1994.— N 4.— P. 17–23.
31. Большая Медицинская Энциклопедия (БМЭ). В 30 т.— 3-е изд. / под ред. Б. В. Петровского.— М.: Советская Энциклопедия, 1985.
32. *Стрелков Р. Б.* Нормобарическая гипокситерапия: методические рекомендации.— М.: ПАИМС, 2001.— 68 с.
33. *Павлов Б. Н., Логунов А. Т., Смирнов И. А., Баранов В. М. и др.* «Способ формирования дыхательной газовой смеси и аппарат для его осуществления». Приоритет изобретения 20.09.1995, Патент № 2072241.
34. *Павлов Б. Н., Логунов А. Т., Смирнов И. А., Баранов В. М. и др.* «Способ подготовки и подачи лечебной газовой смеси и устройство для его осуществления». Приоритет изобретения 16.04.1999, Патент № 214 6536 от 20.03.2000 года.

35. Павлов Б. Н., Павлов Н. Б., Куссмауль А. Р., Тугушева М. П. Физиологические эффекты газовых смесей и сред, содержащих аргон, гелий, ксенон и криптон // Вопросы экспериментальной и клинической физиологии дыхания: сборник научных трудов.— Тверь, 2007.— С. 173–179.
36. Павлов Б. Н., Дьяченко А. И., Шулагин Ю. А., Буравкова Л. Б. и др. Исследования физиологических эффектов дыхания подогретыми кислородно-гелиевыми смесями // Физиология человека.— 2003.— Т. 29, № 5.— С. 69–73.
37. Григорьев А. И., Гришин В. И., Логунов А. Т., Орлов О. И., Павлов Н. Б., Суворов А. В. «Способ восстановления работоспособности человека после физических и психоэмоциональных нагрузок». Патент RU № 2508923 от 20.02.2013 г.
38. Поликарпочкин А. Н., Левшин И. В. Перспективы применения кислородно-гелиевых смесей в спорте высших достижений // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта.— 2010.— № 4 (62).— С. 45–49.
39. Трошихин Г. В. Организм в гелиокислородной среде.— Л.: Наука, 1989.— 157 с.
40. Тугушева М. П., Дьяченко А. И., Шулагин Ю. А. Исследование физиологического действия подогретой кислородно-гелиевой дыхательной смеси на параметры внешнего дыхания человека // Авиакосмическая и экологическая медицина.— 2007.— Т. 41, № 3.— С. 48–51.
41. Логунов А. Т., Гришин В. И., Садков В. Ю. Мобильный дыхательный тренажер для проведения гипоксически-гипероксических тренировок // Приоритет изобретения 01.03.2013, патент RU № 2521841.
42. Павлов Б. Н., Логунов А. Т., Смирнов И. А., Баранов В. М. и др. «Способ подготовки и подачи лечебной газовой смеси и устройство для его осуществления». Патент № 214 6536 от 20.03.2000 года.
43. Регистрационное удостоверение № РЗН 2015/2466 от 12.03.2015 г. Приказ № 1534 от 12.03.2015 г. Ингаляторы для дыхания подогретыми кислородно-гелиевой газовой смесью «Ингалит».

### References

1. Volkov N. I., Kolchinskaya A. Z., *Gipoksiya Medikal*, 1993, No. 2, pp. 30–35.
2. *Vtorichnaya tkanevaya gipoksiya*, pod obshh. red. A. Z. Kolchinskoy, Kiev: Nauk. dumka, 1983, 256 p.
3. Malkin V. B., Gippenrejter E. B., *Ostraya i hronicheskaya gipoksiya*, Moscow: Nauka, 1977, 317 s.
4. Novikov V. S., *Fiziologiya lyotnogo truda*, St. Petersburg: Nauka, 1997, 411 s.
5. Novikov V. S., Goranchuk V. V., Shustov E. B., *Fiziologiya ekstremal'nykh sostoyanij*, St. Petersburg: Nauka, 1998, 247 s.
6. Ponomarenko V. A., *Voen-med. zhurn*, 2005, No. 4, pp. 40–50.
7. Volkov N. I., *Teoriya i praktika fizicheskoy kultury*, 2000, No. 7, pp. 20–23.
8. Volkov N. I., Kovalenko E. A., *Intervalnaya gipoksicheskaya trenirovka, effektivnost, mehanizmy dejstviya*, Kiev, 1992, pp. 4–6.
9. Kondrashova M. N., *Gipoksiya nagruzki, matematicheskoe modelirovanie, prognozirovanie i korrakciya*, Kiev: AN USSR, 1981, p. 30.
10. Razsolov N. A., Chizhov A. Ya., Potievskij B. G., Potievskaya V. I., *Normobaricheskaya gipoksiterapiya. Metodicheskie rekomendacii dlya aviacionnykh vrachej*, Moscow, 2002, 19 p.
11. Sovetov V. I., Sapova N. I., «Sposob povysheniya nespecificheskoj rezistentnosti organizma cheloveka». Patent RF No. 2238112 от 19.03.2003 г.
12. Sokunova S. F., *Problemy, poiski, resheniya: materialy 40-j nauch.-prakt. mezhtregion. konf. vrachej*, Ulyanovsk, 2005, pp. 670–671.
13. Volkov N. I., *Reabilitaciya i terapiya v usloviyah kurorta*, Moscow, 1993, pp. 12–25.
14. Volkov N. I., Kovalenko E. A. i dr., *Intervalnaya gipoksicheskaya trenirovka, effektivnost, mehanizmy dejstviya*, Kiev, 1992, p. 4.
15. Glazachev O. S., *Sportivnaya medicina: nauka i praktika*, 2011, No. 1.
16. *Intervalnaya gipoksicheskaya trenirovka: effektivnost, mehanizmy dejstviya*, pod red. A. Z. Kolchinskoy, Kiev: GIFK, ELTA, 1992, 159 p.
17. Kolchinskaya A. Z., *Sportivnaya medicina*, 2008, No. 1, pp. 9–24.
18. Levshin I. V., Polikarpochkin A. N., *Uchenye zapiski Universiteta im P. F. Lesgafta*, 2010, No. 4 (62), pp. 45–49.
19. Meerson F. Z., Tverdohlib V. P., Boev V. M., Frolov B. A., *Adaptaciya k periodicheskoy gipoksii v terapii i profilaktike*, Moscow: Nauka, 1989, 70 p.
20. Solodkov A. S., Levshin I. V., Polikarpochkin A. N., *Adaptivnaya fizicheskaya kultura*, 2010, No. 2 (42).
21. Glazychev O. S., *Vestnik mezhdunarodnoj akademii nauk (russkaya sekciya)*, 2013, No. 1, pp. 45–54.
22. Karash Yu. M., Strelkov R. B., Chizhov A. Ya., *Normobaricheskaya gipoksiya v lechenii, profilaktike i reabilitacii*, Moscow: Medicina, 1988, 352 p.

23. Kovalenko E. A., *Gipoksiya Medikal*, 1993, No. 1, pp. 3–5.
24. Kovalenko E. A. i dr., *Intervalnaya gipoksicheskaya trenirovka, effektivnost, mehanizmy dejstviya*, Kiev, 1992, p. 103.
25. Novikov V. S., Goranchuk V. V., Shustov E. B., *Fiziologiya ekstremalnyh sostoyanij*, St. Petersburg: Nauka, 1998, 247 p.
26. Logunov A. T., Grishin V. I., Ilinskaya E. A., Yakimovich N. V., Gorodeckij I. G., *Vserossijskij institut nauchnoj i tehnicheskoj informacii RAN, Problemy bezopasnosti poletov*, 2012, No. 5, pp. 4–20.
27. Pavlov B. N., Grigorev A. I., Logunov A. T. «*Sposob vozdejstviya gazovyh smesej na organizm*». Patent RF No. 2232013 ot 04.06.2001 g.
28. Nudelman L. M., *Teoriya i praktika fizicheskoj kultury: Trener — zhurnal v zhurnale*, 2006, No. 1, pp. 37–38.
29. Pavlov B. N., Grigorev A. I., Logunov A. T. «*Sposob vozdejstviya gazovyh smesej na organizm*». Patent RF No. 2232013 ot 04.06.2001 g.
30. Platonov V. N., *Hypohia Medical J.*, 1994, No. 4, pp. 17–23.
31. *Bolshaya Medicinskaya Enciklopediya (BME)*, 30 t, 3-e izd., pod red. B. V. Petrovskogo, Moscow: Sovetskaya Enciklopediya, 1985.
32. Strelkov R. B. *Normobaricheskaya gipoksiterapiya: metodicheskie rekomendacii*, Moscow: PAIMS, 2001, 68 p.
33. Pavlov B. N., Logunov A. T., Smirnov I. A., Baranov V. M. i dr. «*Sposob formirovaniya dyhatelnoj gazovoj smesi i apparat dlya ego osushhestvleniya*». Prioritet izobreteniya 20.09.1995, Patent No. 2072241.
34. Pavlov B. N., Logunov A. T., Smirnov I. A., Baranov V. M. i dr. «*Sposob podgotovki i podachi lechebnoj gazovoj smesi i ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya*». Prioritet izobreteniya 16.04.1999, Patent No. 214 6536 ot 20.03.2000 goda.
35. Pavlov B. N., Pavlov N. B., Kussmaul A. R., Tugusheva M. P., *Voprosy eksperimentalnoj i klinicheskoy fiziologii dyhaniya: sbornik nauchnyh trudov*, Tver, 2007, pp. 173–179.
36. Pavlov B. N., Dyachenko A. I., Shulagin Yu. A., Buravkova L. B. i dr., *Fiziologiya cheloveka*, 2003, vol. 29, No. 5, pp. 69–73.
37. Grigorev A. I., Grishin V. I., Logunov A. T., Orlov O. I., Pavlov N. B., Suvorov A. V. «*Sposob vosstanovleniya rabotosposobnosti cheloveka posle fizicheskikh i psihoemocionalnyh nagruzok*». Patent RU No. 2508923 ot 20.02.2013 g.
38. Polikarpochkin A. N., Levshin I. V., *Uchenye zapiski universiteta imeni P. F. Lesgafta*, 2010, No. 4 (62), pp. 45–49.
39. Troshihin G. V. *Organizm v geliokislorodnoj srede*, Leningrad: Nauka, 1989, 157 p.
40. Tugusheva M. P., Dyachenko A. I., Shulagin Yu. A., *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya medicina*, 2007, vol. 41, No. 3, pp. 48–51.
41. Logunov A. T., Grishin V. I., Sadkov V. Yu. *Mobilnyj dyhatelnyj trenazher dlya provedeniya gipoksicheskikh-giperoksicheskikh trenirovok*, Prioritet izobreteniya 01.03.2013, patent RU No. 2521841.
42. Pavlov B. N., Logunov A. T., Smirnov I. A., Baranov V. M. i dr. «*Sposob podgotovki i podachi lechebnoj gazovoj smesi i ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya*». Patent No. 214 6536 ot 20.03.2000 goda.
43. Registracionnoe udostoverenie No. RZN 2015/2466 ot 12.03.2015 g. Prikaz No. 1534 ot 12.03.2015 g. Ingalyatory dlya dyhaniya podogretymi kislorodno-gelievoy gazovoy smesyu «Ingalit».

Поступила в редакцию: 13.10.2016 г.

Контакт: Гришин Виктор Иванович, v985363@yandex.ru

#### Сведения об авторах:

*Логунов Алексей Тимофеевич* — генеральный директор — главный конструктор ЗАО «Специальное конструкторское бюро экспериментального оборудования при Институте медико-биологических проблем РАН» (ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН»), Московская область, г. Химки, Вашутинское шоссе, д.1, корп. 1, e-mail: a.t.logunov@yandex.ru тел: +7 498 764-27-32;

*Гришин Виктор Иванович* — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН». Московская область, г. Химки, Вашутинское шоссе, д.1, корп. 1; e-mail: v985363@yandex.ru; тел. +7 985 363-07-02;

*Павлов Николай Борисович* — кандидат медицинских наук, доцент, врач анестезиолог-реаниматолог высшей категории, научный сотрудник ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН». Московская область, г. Химки, Вашутинское шоссе, д. 1, корп. 1; e-mail: skb-imbp@bk.ru;

*Кузнецова Татьяна Евгеньевна* — кандидат медицинских наук, доцент, профессор кафедры физиологии медико-биологического факультета Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н. И. Пирогова Минздрава России. г. Москва, ул. Островитянова, д. 1, e-mail: rsmu@rsmu.ru;

*Забедовская Ольга Анатольевна* — врач-невролог высшей категории, заведующая отделением спортивной медицины ФГБУ Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий (ФГБУ ФНКЦ ФМБА России), Московская обл., г.о. Химки, мкр-н Новогорск.