

УДК 612.014.4:546.293

<http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-2-77-87>

ОЦЕНКА ДОПУСТИМОСТИ 100-СУТОЧНОЙ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ЧЕЛОВЕКА В НОРМОБАРИЧЕСКИХ ГАЗОВЫХ СРЕДАХ, ПОВЫШАЮЩИХ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ ОБИТАЕМЫХ ГЕРМООБЪЕКТОВ

¹А. О. Иванов[✉], ²В. А. Петров[✉], ³А. Ю. Ерошенко[✉], ¹В. Ф. Беляев[✉], ⁴Ю. Е. Барачевский[✉]

¹Военно-морская академия имени Н. Г. Кузнецова, Санкт-Петербург, Россия

²Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга, Санкт-Петербург, Россия

³Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия

⁴Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

ЦЕЛЬ: Оценка допустимости длительного пребывания человека в регулируемых нормобарических гипоксических газовых средах, повышающих пожаробезопасность обитаемых гермообъектов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Обследованы мужчины в возрасте 25–32 лет (5 человек) и 53 лет (1 человек). В помещениях испытательного стенда создавалась газовая среда с содержанием кислорода 19–18% об.— помещения постоянного пребывания, или 17–16% об.— помещения периодического (4 часа в сутки, пребывания). Длительность испытаний составила 100 суток. Во время испытаний 1 раз в 10 дней проводились «регулирования» (быстрое поступление азота) газовой среды со снижением концентрации кислорода до 15–12% об. при пребывании в таких условиях добровольцев в течение 2 часов.

РЕЗУЛЬТАТЫ: В течение всего периода 100-суточной герметизации ни у одного из добровольцев не выявлено признаков нарушения состояния соматического и психического здоровья, все добровольцы успешно выполнили программу испытаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Полученные результаты обосновывают допустимость применения технологии регулируемых нормобарических гипоксических газовых сред в разработанных режимах для повышения пожаробезопасности обитаемых гермообъектов, в частности подводных лодок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, регулируемые гипоксические газовые среды, обитаемые гермообъекты, пожаробезопасность, работоспособность

*Для корреспонденции: Иванов Андрей Олегович, e-mail: ivanoff65@mail.ru

*For correspondence: Andrey O. Ivanov, e-mail: ivanoff65@mail.ru

Для цитирования: Иванов А.О., Петров В.А., Ерошенко А.Ю., Беляев В.Ф., Барачевский Ю.Е. Оценка допустимости 100-суточной герметизации человека в нормобарических газовых средах, повышающих пожаробезопасность обитаемых гермообъектов // *Морская медицина*. 2022. Т. 8, № 2. с. 77–87, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-2-77-87>

For citation: Ivanov A.O., Petrov V.A., Eroshenko A.Ye., Belyaev V.F., Barachevsky Yu.E. Assessment of admissibility of 100-day human sealing in normobaric gaseous environments, increasing fire safety of habitated hermoobjects // *Marine Medicine*. 2022. Vol. 8, No. 2. P. 77–87. DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-2-77-87>

ASSESSMENT OF ADMISSIBILITY OF 100-DAY HUMAN SEALING IN NORMOBARIC GASEOUS ENVIRONMENTS, INCREASING FIRE SAFETY OF HABITATED HERMOBJECTS

¹Andrey O. Ivanov[✉], ²Vasiliy A. Petrov[✉], ³Andrey Ye. Yeroshenko[✉], ¹Viktor F. Belyaev[✉],
⁴Yuriy E. Barachevsky[✉]

¹The Naval Academy after N. G. Kuzhetsov, St. Petersburg, Russia

²The Association of Developers and Manufacturers of Monitoring Systems, St. Petersburg, Russia

³The Rostov State Medical University, Rostov-On-Don, Russia

⁴The Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

OBJECTIVE: the assessment of admissibility of a human long-term stay in regulated normobaric hypoxic gaseous environments, increasing fire safety of habituated hermoobjects.

MATERIALS AND METHODS: Men aged 25–32 (5 people) and 53 (1 person) were surveyed. Inside the test bench a gaseous environment was created with 19–18% vol. oxygen content — a continued stay room, or 17–16% vol.— periodical stay one (4 hours per day). The duration of the tests was 100 days. Once in 10 days there was the «regulation» (fast nitrogen input) of the gaseous environment with the decrease in oxygen concentration up to 15–12% vol., while the volunteers being in such conditions for 2 hours.

RESULTS: During the whole period of 100-day sealing none of the volunteers experienced signs of somatic and mental health disorders; all the volunteers completed the testing program successfully.

CONCLUSION: The results justify the admissibility of applying the technology of regulated normobaric hypoxic gaseous environments in the developed modes to increase fire safety of habituated hermoobjects, particularly in submarines.

KEYWORDS: marine medicine, regulated hypoxic gaseous environments, habituated hermoobjects, fire safety, performance

Введение. Несмотря на большое количество научных работ, посвященных проблемам гипоксических состояний человека различного генеза, гипоксической физиологии и медицины, гипоксической баротерапии, в настоящее время интерес к данной проблеме со стороны биологов, физиологов, токсикологов, клиницистов не ослабевает [1, с. 431; 2, с. 86–87; 3, с. 531; 4, с. 309]. Так, гипоксическая тренировка широко используется как вспомогательное средство физической подготовки спортсменов различных видов спорта и других категорий лиц, тренирующих мышечную выносливость [5, с. 124; 6, с. 433]. Гипоксическая терапия является, например, одним из общепринятых и наиболее эффективных способов так называемого «ишемического прекондиционирования», применяемого при подготовке и последующей реабилитации пациентов при операциях с подключением искусственного кровообращения [7, с. 22; 8, с. 310; 9, с. 139–140].

К одному из направлений использования гипоксических газовых сред (ГГС) в прикладных целях является их применение для обеспечения пожаробезопасности современных обитаемых гермообъектов специального назначения,

в частности, подводных лодок (ПЛ) [10, с. 100; 11, с. 6; 12, с. 988; 13, с. 52; 14, с. 159–160]. Общеизвестно, что основные характеристики пожара (температура горения материалов, скорость горения и выделения тепла, время индукции пламени и другие) напрямую определяются содержанием кислорода в воздушной среде объекта (отсека ПЛ) [15, с. 92]. Именно поэтому создание ГГС в герметичных помещениях гермообъекта будет обеспечивать снижение риска пожаров и возгораний пропорциональное степени снижения содержания кислорода в газовой среде. Исследования противопожарной эффективности нормобарических ГГС (НГГС) показали, что горение основных конструкционных материалов, использующихся при строительстве ПЛ, прекращается при содержании кислорода в диапазоне 17–16% об., но даже снижение концентрации кислорода до 19–18% об. значительно уменьшает пожароопасность в герметичном помещении [10, с. 101; 11, с. 4; 16, с. 38]. Однако даже кратковременное пребывание человека в гипоксических газовых средах является небезопасным, особенно с точки зрения возможности выполнения специалистами интенсивной профессио-

нальной деятельности физического и умственного характера [17, с. 1386; 18, с. 25–26; 19, с. 111]. Следовательно, для решения проблемы повышения пожаробезопасности ПЛ необходим разумный компромисс между желательным значительным снижением концентрации кислорода в газовой среде герметизируемых помещений (отсеков) и возможностями персонала осуществлять в этих условиях профессиональную деятельность.

При этом в качестве наиболее рационального варианта применения НГГС на ПЛ представлялось использование технологии «регулирования» НГГС [11, с. 5–8; 13, с. 52–53; 16, с. 37–38]. Данная технология подразумевает создание газовых сред с различным содержанием кислорода в зависимости от класса помещения (с постоянным или периодическим пребыванием личного состава). Кроме этого, в случае поступления сигнала от контролирующих систем об опасности пожара, в отсек автоматически подается дополнительное количество азота из системы азотного

«Стенд» (АО «АСМ», Санкт-Петербург) [20, с. 104–106]. Конструкция Стенда позволяла формировать в его отдельных помещениях (отсеках) НГГС различного состава, проводить их регулирование (быстрые изменения содержания кислорода), имитирующие пожаротушение, а также обеспечивала возможность длительного непрерывного пребывания и выполнения работ в них добровольцев. В испытаниях участвовали мужчины в возрасте 25–32 лет (5 человек) и 53 лет (1 человек), не имеющие медицинских противопоказаний к участию в испытаниях, подписавшие добровольное информированное согласие и застрахованные на случай причинения вреда здоровью на весь период 100-суточной герметизации.

В помещениях «постоянного пребывания» формировались НГГС состава: кислород 18–19% об. (p_{O_2} около 18–19 кПа), диоксид углерода 0,3–0,8% об. ($p_{CO_2}=0,25–0,9$ кПа), азот — остальное, при нормальных величинах других параметров микроклимата (табл. 1).

Таблица 1

Длительность и периодичность пребывания добровольцев в НГГС, формируемых в жилых помещениях Стенда, в период 100-суточных испытаний

Table 1

Duration and frequency of volunteers' stay in normobaric hypoxic gas environments formed in the living quarters of the Stand during 100-day tests

Вид пребывания	Время, периодичность	Концентрация (парциальное давление кислорода) в НГГС
«Постоянное»	20 часов в сутки	19–18% (19–18 кПа)
«Периодическое»	4 часа в сутки	17–16% (17–16 кПа)
«Регулирование НГГС»	2 часа, 1 раз в 10 суток	15–12% (15–12 кПа)

пожаротушения (САП), которыми оснащается ряд современных проектов ПЛ, что обеспечивает недопущение развития объемного пожара. При этом гипотетически допустимым является пребывание в таком помещении человека, по разным причинам не имеющего возможности использования средств индивидуальной защиты органов дыхания изолирующего типа (СИЗОД).

Естественно, что все перечисленные положения нуждались в обязательной проверке с точки зрения допустимости применения технологии регулируемых НГГС на реальных гермообъектах, в частности, на заказах ВМФ, что определило **цель** данной работы, для достижения которой были проведены специальные стендовые испытания с участием испытуемых добровольцев.

Материалы и методы. Исследования проводились на испытательном стенде — далее

Ежедневно в течение 4 часов добровольцы выполняли работы в условно «периодически посещаемом» помещении, в котором создавались НГГС состава: кислород 16–17% об. (p_{O_2} около 16–17 кПа), диоксид углерода 0,3–0,8% об. ($p_{CO_2}=0,25–0,9$ кПа), азот — остальное, при нормальных величинах других параметров микроклимата. Кроме этого, в процессе испытаний (1 раз в 10 дней) были запланированы так называемые «регулирования ГГС» (по специально разработанным режимам и алгоритмам), имитирующие срабатывание САП. В процессе регулирований добровольцы в течение 2 часов находились в помещении при содержании кислорода 12–15% об. ($p_{O_2}=14,8–11,7$ кПа) без включения (9 регулирований) или с включением (1 регулирование) в СИЗОД.

В процессе 100-суточной герметизации добровольцы выполняли ежедневную рабочую

программу, заключающуюся в осуществлении деятельности интеллектуального (операторского) содержания, а также физических нагрузок различного типа и мощности. Общая продолжительность ежедневных работ и занятий составляла около 8 ч в сутки. Как правило, еще около 2 ч в сутки занимали различные обследования и тренировочные занятия. Кроме этого, были организованы посменные круглосуточные дежурства. Таким образом, повседневная деятельность участников испытаний была приближена к реальной деятельности личного состава ПЛ.

В течение периода наблюдения у всех добровольцев проводились углубленные этапные комплексные исследования, которые были направлены на всестороннюю оценку функционального состояния и работоспособности и включали физиологические, психофизиологические, психодиагностические, клинично-лабораторно-инструментальные и иные исследования (табл. 2).

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием п.п.п. «Statistica» v. 10.0. Использовались методы вариационной статистики, для каждого показателя рассчитывались медианы, верхний и нижний квартили.

Таблица 2

Основные направления и методы проведенных исследований

Table 2

The main directions and methods of the conducted research

Направления исследования		Методы исследования	
1		2	
I. Психологическое обследование (оценка субъективного и психоэмоционального статуса)		Анкета жалоб Опросник функционального состояния Шкала «Самочувствие, активность, настроение» Шкала сонливости Шкала оценки ситуативной тревоги Тест СМИЛ Тест «Сигнал»	
	II. Физиологическое обследование в состоянии оперативного покоя	Антропометрия Исследование показателей гемодинамики	Длина и масса тела, расчетные показатели Измерение ЧСС, АД Электрокардиография Суточное мониторирование ЧСС и АД Ритмокардиография Лазерная доплеровская флоуметрия Эхокардиография Расчетные показатели
		Исследование функции внешнего дыхания Оценка газотранспортной функции крови	Оценка вентиляции легких Исследование газообмена Расчетные показатели Сатурация капиллярной крови
III. Функциональные нагрузочные пробы		Спирометрия Пробы с задержкой дыхания (Штанге, Генча) Кистевая динамометрия (локальная нагрузка) «Кардиоваскулярные тесты» (ортостатическая проба, проба с глубоким дыханием, проба Вальсальвы, изометрическая нагрузка) Проба Мартине (общая анаэробная нагрузка) Аэробная велоэргометрическая нагрузка (тест PWC170) Субмаксимальная велоэргометрическая нагрузка (до ПАНО)	
IV. Психофизиологическое обследование	Оценка биоэлектрической активности головного мозга	Электроэнцефалография	
	Оценка умственной работоспособности	Тест «арифметический счет» в сочетании с регистрацией ритмокардиограммы Тест «Маршрут»	
	Оценка сенсорных и сенсомоторных качеств	Сложная сенсомоторная реакция Реакция на движущийся объект Динамическая и статическая треморометрия Критическая частота слияния мельканий	

Окончание таблицы 2

1	2
V. Лабораторные, клиничко-биохимические, иммунологические исследования крови	Анализ клеточного состава крови Исследования углеводного, белкового, жирового обмена Исследования активности ферментов Исследования минерального обмена и концентрации транспортных белков Исследование оксидативного статуса, кислотно-основного состояния и газового состава крови Иммунологические исследования Исследования уровня гормонов Исследования показателей гемостаза
VI. Исследования мочи	Общеклинический анализ

Учитывая малую численность выборок, проверку данных на нормальность распределения не проводили. Значимость различий показателей в динамике наблюдения определяли с использованием непараметрического Т-критерия Вилкоксона для парных связанных выборок.

Результаты и их обсуждение. В ходе проведения 100-суточной герметизации в НГГС при пребывании в помещениях с содержанием кислорода 18–19% об., ни у одного из добровольцев не выявлено признаков нарушения состояния соматического и психического здоровья, при этом уровень физиологических и психофизиологических резервов, физической и умственной (в том числе операторской) работоспособности у всех испытуемых сохранялся.

Определено, что ежедневное 4-часовое пребывание участников испытаний в помещениях при содержании кислорода 16–17% об. не приводило к недопустимому (более 20% по сравнению с исходным уровнем) ухудшению надежности деятельности физического профиля в течение всего периода наблюдения.

Пребывание добровольцев в НГГС с содержанием кислорода 17–16% об. также не сопровождалось значимым снижением прямых критериев успешности интеллектуальной деятельности при умеренном повышении ее «физиологической» стоимости (табл. 3)¹.

По мере формирования адаптированности к измененным условиям обитаемости у добровольцев отмечалось постепенное снижение

Таблица 3

Прямые и косвенные критерии успешности выполнения теста «Арифметический счет»¹ испытуемыми (n=6) на этапах наблюдения, Me (Q25; Q75)

Table 3

Direct and indirect criteria for the success of the «Arithmetic Counting» test by the subjects (n=6) at the observation stages, Me (Q25; Q75)

Этап обследования	Критерии успешности				
	прямые критерии			косвенные критерии	
	число решенных примеров, ед.	число ошибок, ед.	надежность, абс. ед.	«пульсовая стоимость», уд.	индекс напряжения, у. е.
1	2	3	4	5	6
1-й этап (нормоксия)	15,5 (10,0; 19,0)	0 (0; 4,0)	15,5 (9,0; 19,0)	355 (278; 401)	44 (30; 89)
2-й этап (5-е сутки герметиз.)	17,0 (16,0; 20,0)	3,0 (1,0; 4,0)	15,0 (14,0; 15,0)	404 (348; 410) p=0,1	65 (30; 96)
3-й этап (15-е сутки герметиз.)	16,0 (11,0; 20,0)	1,0 (1,0; 1,0)	15,0 (10,0; 19,0)	318 (310; 324) p ₁ =0,03	63 (32; 95)
4-й этап (25-е сутки герметиз.)	17,0 (14,0; 22,0)	1,5 (1,0; 3,0)	16,0 (9,0; 19,0)	499 (405; 482) p=0,03 p ₁ =0,04	64 (32; 85)
5-й этап (35-е сутки герметиз.)	18,0 (12,0; 20,0)	0,5 (0; 3,0) p ₁ =0,1	15,5 (12,0; 18,0)	344 (336; 388)	68 (32; 90)
6-й этап (45-е сутки герметиз.)	20,0 (17,0; 24,0) p=0,03 p ₁ =0,1	1,0 (0; 2,0) p ₁ =0,1	19,5 (17,0; 20,0) p=0,03 p ₁ =0,03	371 (342; 426) p=0,1	62 (44; 73)

¹ Методы исследования в физиологии военного труда / под ред. В. С. Новикова. М.: Воениздат, 1993. 240 с.

7-й этап (55-е сутки герметиз.)	23,0 (13,0; 25,0) p=0,1 p ₁ =0,1	2,5 (1,0; 4,0)	18,5 (13,0; 23,0) p ₁ =0,1	391 (387; 397) p=0,1	98 (41; 97)
8 этап (65-е сутки герметиз.)	27,0 (17,0; 29,0) p=0,03 p ₁ =0,04	1,0 (0; 5,0)	24,5 (17,0; 26,0) p=0,04 p ₁ =0,04	384 (312; 399) p=0,1	60 (26; 141)
9 этап (75-е сутки герметиз.)	17,0 (16,0; 20,0) p=0,1	3,0 (1,0; 4,0)	15,0 (14,0; 15,0)	352 (308; 410) p ₁ =0,1	65 (30; 96)
10 этап (85-е сутки герметиз.)	19,5 (18,0; 23,0) p=0,04 p ₁ =0,1	1,0 (0; 4,0)	18,0 (15,0; 19,0) p ₁ =0,04	350 (303; 400) p=0,1	55 (34; 80) p ₁ =0,1
11 этап (95-е сутки герметиз.)	24,5 (19,0; 27,0) p=0,03 p ₁ =0,03	2,0 (1,0; 3,0)	20,5 (18,0; 26,0) p=0,03 p ₁ =0,03	360 (312; 386) p ₁ =0,048	58 (30; 82) p ₁ =0,1

Примечание: уровень статистической значимости различий: p — по сравнению с первичным обследованием; p₁ — по сравнению с этапом «5-е сутки герметизации».

Note: the level of statistical significance of the differences: p — compared with the initial examination; p₁ — compared with the stage «5th day of sealing».

избыточного физиологического обеспечения умственной работы, при этом достаточный (фактически «нормоксический») уровень прямых критериев работоспособности у всех участников испытаний сохранялся (а у некоторых из них — даже повышался) вплоть до окончания 100-суточной герметизации.

При проведении запланированных (1 раз в 10 дней) регулирований НГГС (по всем отработываемым режимам и алгоритмам) или моделирования срабатываний САП и поступления в помещение азота (с параллельным снижением содержания кислорода до 12% об.) выявлено, что при таких параметрах внешней среды в течение 2 часов добровольцы (без включения в СИЗОД) выполняли деятельность физического и операторского профиля без существенного ущерба ее эффективности и надежности.

Проведенные исследования показали, что при нахождении добровольцев под повышенным (до 0,16 мПа) давлением (в связи с поступлением в помещение азота) и включении в СИЗОД (ПДА, ИП-Д), последующее выравнивание давления, а затем выключение из СИЗОД не приводят к недопустимым реакциям организма при нахождении в помещении, где содержание кислорода снижено до 12–13% об.

Углубленные постоянные наблюдения за добровольцами показали, что в течение герметизации они либо вообще не имели жалоб на самочувствие¹, связанных с пребыванием в НГГС, либо отмечали лишь слабо выраженные и транзиторные признаки легкого головокружения, ощущения «субъективного дискомфорта», легкой общей слабости, недостатки

воздуха на фоне высокоинтенсивных физических нагрузок или регулирований НГГС (при содержании кислорода ниже 14% об.). Все указанные симптомы были характерными для компенсированных, в худшем случае субкомпенсированных гипоксических состояний [1, с. 440] и купировались без применения медикаментозных средств и организационных мер.

Что касается изменений внутренней среды организма, то ожидаемым фактом явился постепенный прирост содержания эритроцитов, гемоглобина и ретикулоцитов циркулирующей крови, обусловленный стимулированным умеренной гипоксией эритропозом. Относительное увеличение содержания эритроцитов по сравнению с исходным уровнем составило около 6%, гемоглобина 9%, ретикулоцитов — около 40%.

Контрольные обследования углеводного и белкового обмена показали, что у всех добровольцев имело место увеличение содержания ряда метаболитов: лактата, креатинина, мочевой кислоты (табл. 4).

На наш взгляд, перечисленные факты были обусловлены компенсаторным увеличением активности анаэробных механизмов энергообеспечения клеток, связанным с длительной гипоксемией, что привело к повышению содержания в циркулирующей крови недоокисленных продуктов обмена веществ. При этом недопустимых явлений метаболического ацидоза не отмечалось ни у одного из испытуемых.

Со стороны показателей метаболизма липидов (табл. 5) выявлены сдвиги, заключающиеся в умеренном повышении содержания уровня триглицеридов, а также в изменениях соотно-

¹ Методы исследования в физиологии военного труда / под ред. В. С. Новикова. М.: Воениздат, 1993. 240 с.

Таблица 4

Показатели углеводного и белкового обмена испытуемых (n=6) на этапах контрольных исследований, Me (Q25; Q75)

Table 4

Indicators of carbohydrate and protein metabolism of the subjects (n=6) at the stages of control studies, Me (Q25; Q75)

Период обследования	Показатель, ед. изм. (референтные значения)					
	глюкоза, ммоль/л (4,1–5,9)	лактат, ммоль/л (0,5–2,22)	общий белок, г/л (66–82)	мочевина, ммоль/л (2,81–7,21)	мочевая кислота, мкмоль/л (208–429)	креатинин, мкмоль/л (74–109)
Исходное состояние	4,73 (4,62; 5,05)	2,51 (2,16; 2,58)	74,8 (69,0; 74,9)	3,96 (3,64; 5,30)	360 (332; 428)	90,0 (88,0; 93,2)
6–10-е сутки герметиз.	5,29 (4,82; 5,33)	3,30 (3,07; 4,48) p=0,027	73,7 (71,1; 75,8)	3,59 (3,35; 4,48)	384 (351; 386)	90,6 (88,0; 98,9)
25–27-е сутки герметиз.	4,13 (3,69; 4,45)	3,19 (3,11; 3,42) p=0,044	68,5 (68,0; 72,0)	4,48 (4,32; 6,00)	360 (331; 415)	90,0 (88,0; 93,0)
35–37-е сутки герметиз.	5,09 (4,66; 5,28)	3,76 (3,26; 4,56) p=0,027	71,8 (69,2; 73,8)	5,14 (4,70; 5,37)	441 (399; 452) p=0,031	103,2 (102,2; 104,3) p=0,039
45–47-е сутки герметиз.	4,64 (4,58; 4,78)	2,90 (2,83; 3,04)	73,9 (70,3; 75,4)	5,15 (4,25; 5,35)	432 (338; 443) p=0,047	97,1 (89,6; 108,0) p=0,045
55–57-е сутки герметиз.	4,44 (3,94; 4,85)	3,42 (3,30; 4,85) p=0,047	73,5 (70,2; 76,2)	5,02 (4,45; 5,03)	429 (420; 443) p=0,035	96,9 (84,4; 101,4)
65–67-е сутки герметиз.	4,31 (4,28; 4,42)	3,38 (2,95; 4,42) p=0,049	75,4 (71,7; 75,7)	5,02 (4,52; 5,27)	424 (399; 441) p=0,044	96,9 (88,1; 105,0) p=0,049
75–77-е сутки герметиз.	4,28 (4,05; 4,57)	3,02 (2,92; 3,20)	73,4 (71,7; 77,3)	4,50 (4,23; 4,70)	414 (396; 428) p=0,047	99,8 (95,1; 108,2) p=0,039
92–94-е сутки герметиз.	4,25 (4,12; 4,39)	2,99 (2,74; 3,25)	73,8 (70,6; 75,1)	4,35 (4,02; 4,69)	387 (334; 482) p=0,1	98,7 (92,1; 106,2) p=0,039

Примечание: уровень значимости различий показателей по сравнению с исходным состоянием (по критерию Вилкоксона) — p.

Note: the level of significance of differences in indicators compared to the initial state (according to the Wilcoxon criterion) is p.

шений фракций липопротеидов, приводящих к повышению коэффициента атерогенности.

Известно, что подобные реакции являются неспецифическим ответом организма на длительно действующий возмущающий фактор и обусловлены участием данных веществ в синтезе так называемых гормонов «стресса и адаптации», формировании клеточных мембран [1, с. 435–436; 6, с. 438]. По-видимому, такая динамика метаболизма липидов свидетельствовала о развитии в организме компенсаторных реакций, направленных на экстренное приспособление к измененным условиям внешней среды.

Характерно, что по мере продолжения герметизации имело место постепенное уменьшение

концентрации холестерина и триглицеридов, редукция коэффициента атерогенности, ферментов-маркеров. Данный факт, по нашему мнению, свидетельствовал о развитии адаптационных изменений в организме и снижении стрессогенности воздействий измененных при проведении стендовых испытаний факторов обитаемости.

Обработка результатов проведенных испытаний и исследований выполнялась с использованием широкого набора математико-статистических методик. Результаты позволили сделать обоснованное заключение о возможности применения технологии регулируемых НГГС на ПЛ с точки зрения их безопасности для личного состава.

Таблица 5

Показатели липидного обмена испытуемых (n=6) в динамике наблюдения, Me (Q₂₅; Q₇₅)

Table 5

Indicators of lipid metabolism of the subjects (n=6) in the dynamics of observation, Me (Q₂₅; Q₇₅)

Этап обследования	Показатель, ед. изм. (референтные значения)					
	холестерин общ., ммоль/л (до 5,2)	триглицериды, ммоль/дл (до 1,7)	ЛПНП, ммоль/л (до 3,3)	ЛПВП, ммоль/л (от 1,03)	ЛПОНП, ммоль/л (до 0,7)	коэффициент атерогенности, отн. ед. (до 3,5)
Исходное состояние	4,94 (3,92; 7,11)	0,95 (0,77; 1,71)	2,99 (2,42; 4,89)	1,41 (1,23; 1,71)	0,41 (0,37; 0,69)	2,64 (2,06; 3,65)
5-е сутки герметиз.	4,71 (4,32; 5,18)	0,97 (0,76; 1,75)	3,13 (2,55; 3,68)	1,16 (1,07; 1,24) p=0,031	0,38 (0,24; 0,56) p=0,047	2,92 (1,81; 4,51)
15-е сутки герметиз.	4,91 (4,83; 4,86)	1,10 (1,02; 1,29)	3,24 (3,08; 4,86)	1,20 (1,05; 1,40)	0,37 (0,35; 0,65)	2,88 (2,46; 4,67) p=0,045
25-е сутки герметиз.	4,79 (4,51; 7,01)	0,88 (0,78; 1,40)	3,10 (2,85; 5,00)	1,20 (1,12; 1,34) p=0,047	0,47 (0,36; 0,75)	3,11 (2,58; 4,65) p=0,045
35–37-е сутки герметиз.	4,76 (4,57; 6,47)	0,88 (0,81; 0,98)	3,01 (2,82; 6,47)	1,18 (1,11; 1,31) p=0,031	0,45 (0,43; 0,85) p=0,047	2,95 (2,49; 4,78) p=0,045
45–47-е сутки герметиз.	5,02 (4,71; 5,75)	1,19 (0,94; 1,73)	3,23 (2,86; 4,00)	1,24 (1,07; 1,31)	0,54 (0,44; 0,68)	2,98 (2,69; 4,37)
55–57-е сутки герметиз.	5,11 (4,52; 7,05)	1,11 (0,87; 1,20)	3,28 (2,79; 4,70)	1,22 (1,16; 1,25)	0,63 (0,54; 1,15) p=0,037	3,24 (2,80; 4,88) p=0,027
65–67-е сутки герметиз.	5,23 (4,44; 6,72)	1,14 (1,05; 1,24)	3,36 (2,68; 4,58)	1,19 (1,14; 1,30) p=0,031	0,65 (0,58; 0,97) p=0,025	3,27 (3,20; 4,74) p=0,027
75–77-е сутки герметиз.	5,17 (4,78; 6,25)	1,15 (1,08; 1,66)	3,26 (2,77; 4,20)	1,22 (1,19; 1,37)	0,63 (0,48; 0,86) p=0,047	3,05 (2,42; 4,25)
92–94-е сутки герметиз.	4,79 (4,33; 6,01)	1,03 (0,94; 1,74)	3,04 (2,57; 4,09)	1,22 (1,20; 1,54)	0,62 (0,38; 0,74)	2,85 (2,52; 4,08)

Примечание: уровень значимости различий показателей по сравнению с 1-м этапом (по критерию Вилкоксона) — p.

Note: the level of significance of differences in indicators compared to the 1st stage (according to the Wilcoxon criterion) — p.

В ходе испытаний определено возможное время безопасного пребывания человека в НГГС в зависимости от вида и степени тяжести работ и параметров газовых сред. В последующем была проведена оценка возможных отдаленных негативных последствий проведенных испытаний (100-суточной герметизации в регулируемых НГГС) для здоровья и работоспособности добровольцев. В ходе исследований установлено, что в течение 4 лет наблюдения, прошедших с момента окончания испытаний, ни у одного из 6 добровольцев нарушений состояния здоровья, обусловленных длительной герметизацией в НГГС, не выявлено. Подробно результаты данной серии ис-

следований будут представлены в наших последующих публикациях.

По результатам испытаний разработана инструкция по регламентированию параметров гипоксической воздушной среды, времени и режимов профессиональной деятельности личного состава, внедряемая на перспективные заказы ВМФ.

Заключение. Таким образом, результаты проведенного исследования позволили сформулировать общий вывод о принципиальной допустимости длительных пребываний человека в заданных регулируемых пожаробезопасных НИГС, а также о механизмах физиологической и психофизиологической адаптации человека к подоб-

ным условиям обитаемости. При этом мы понимаем, что внедрение пожаробезопасных НИГС на перспективные ПЛ является трудной, многоплановой и многоступенчатой проблемой, включающей как техническую, так и физиолого-медицинскую составляющие. Именно поэтому для

решения данной проблемы необходим дальнейший комплекс работ и исследований, где будут уточнены и преодолены возможные препятствия, расширены спектр и длительность обследований, увеличено число добровольцев, выполнены натурные испытания на реальных объектах ВМФ.

Сведения об авторах:

Иванов Андрей Олегович — доктор медицинских наук, профессор, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (обитаемости кораблей и медицинского обеспечения личного состава Военно-Морского Флота) Научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-Морского Флота Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Н. Г. Кузнецова» Министерства обороны Российской Федерации; 197101, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30; тел.: +7 (911) 733-73-69; e-mail: ivanoff65@mail.ru; SPIN 5176-2698; ORCID 0000-0002-8364-9854;

Петров Василий Александрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, исполнительный директор АО «Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга»; 199034, Санкт-Петербург, 17 линия Васильевского острова, д. 4-6; e-mail: vas3188@yandex.ru;

Ерошенко Андрей Юрьевич — доктор медицинских наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 344022, г. Ростов-на-Дону, Нахичеванский пер., д. 29; e-mail: andre-zdrav@mail.ru; SPIN 4289-9063; ORCID 0000-0002-6767-7302;

Беляев Виктор Федорович — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (обитаемости кораблей и медицинского обеспечения личного состава Военно-Морского Флота). Научно-исследовательский институт кораблестроения и вооружения Военно-Морского Флота Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Н. Г. Кузнецова» Министерства обороны Российской Федерации; 197101, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30; тел.: +7 (911) 244-80-40; SPIN 1225-7174; ORCID 0000-0002-4776-78/X; e-mail: viktme@mail.ru.

Барачевский Юрий Евлампиевич — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51; тел.: 8 (911) 877-23-93; e-mail: barjel@yandex.ru; SPIN: 1253-4389; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5299-4786>.

Information about the authors:

Andrey O. Ivanov — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Senior Researcher of the Research Department (Ship habitability and medical support of the Navy personnel) Scientific Research Institute of Shipbuilding and Armaments of the Navy of the MTSC of the Navy «Naval Academy named after N. G. Kuznetsov» Ministry of Defense of Russia, St. Petersburg, Russian Federation; 197101, St. Petersburg, st. Chapayeva, 30; Phone: 8 (911) 733-73-69; e-mail: ivanoff65@mail.ru; SPIN-code 5176-2698; ORCID 0000-0002-8364-9854;

Vasily A. Petrov — Cand. of Sci. (Techn.), Executive director of JSC «Association of developers and producers of monitoring systems» (Russia, 199034, Saint-Petersburg, 17 line of Basil Island, 4-6); e-mail: 79219959911@ya.ru;

Andrey Yu. Eroshenko — Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Life Safety and Disaster Medicine of FSBEI HE «Rostov State Medical University» of the Ministry of Public Health of Russian Federation; 344022, Rostov-on-Don, Nakhichevansky st., 29; Phone: 8 (918) 558-12-28; e-mail: andre-zdrav@mail.ru. SPIN-code 4289-9063; ORCID 0000-0002-6767-7302;

Viktor F. Belyaev — Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher of the Research Department (Ship habitability and medical support of the Navy personnel) Scientific Research Institute of Shipbuilding and Armaments of the Navy of the MTSC of the Navy «Naval Academy named after N. G. Kuznetsov» Ministry of Defense of Russia, St. Petersburg, Russian Federation; 197101, St. Petersburg, st. Chapayeva, 30; Phone: +7 (911) 244-80-40; SPIN 1225-7174; ORCID 0000-0002-4776-78/X; e-mail: viktme@mail.ru;

Yuriy E. Barachevskiy — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Mobilization Training of Public Health and Disaster Medicine. FSBEI HE «Northern State Medical University» of the Ministry of Public Health of Russian Federation; 163000, Arkhangelsk, Troitskiy av., 51; Phone: 8 (911) 877-23-93; e-mail: barjel@yandex.ru; SPIN-code 1253-4389; ORCID 0000-0002-5299-4786.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: Вклад в концепцию и план исследования — А. О. Иванов, В. А. Петров, В. Ф. Беллев. Вклад в сбор и математический анализ данных — А. Ю. Ерошенко, А. О. Иванов, Ю. Е. Барачевский. Вклад в подготовку рукописи — А. О. Иванов, А. Ю. Ерошенко.

Author contribution. All authors equally participated in the preparation of the article in accordance with the ICMJE criteria. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: AOI, VAP, VFB aided in the concept and plan of the study; AYUE, IAO, YUEB provided collection and mathematical analysis of data.

Соответствие принципам этики. Исследования были организованы и проведены в соответствии с положениями и принципами действующих международных и российских законодательных актов, в частности Хельсинкской декларации 1975 г. и ее пересмотра 2013 г. Легитимность исследований подтверждена заключением независимого этического комитета при Северном ГМУ (протокол № 5/10-15 от 19.10.2015).

Adherence to ethical standards. The research was organized and conducted in accordance with the provisions and principles of the current international and Russian legislative acts, in particular the Helsinki Declaration of 1975 and its revision in 2013. The legitimacy of the research was confirmed by the conclusion of the Independent Ethics Committee at the Northern State Medical University (Protocol No. 5/10-15 of 19.10.2015).

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Поступила /Received: 25.01.2022

Принята к печати/ Accepted: 16.05.2022

Опубликована/ Published: 25.06.2022

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Choudhury R. Hypoxia and hyperbaric oxygen therapy: a review // *Internat. J. of General Med.* 2018. Vol. 11. P. 431–442.
2. Tymko M.M., Hoiland R.L., Tremblay J.C. et al. The 2018 Global Research Expedition on Altitude Related Chronic Health (Global REACH) to Cerro de Pasco, Peru: an Experimental Overview // *Experimental Physiology*. 2021. Vol. 106. P. 86–103.
3. Tremblay J.C., Kleinsasser A., Hell T. et al. Carry-Over Quality of Pre-acclimatization to Altitude Elicited by Intermittent Hypoxia: A Participant-Blinded, Randomized Controlled Trial on Antedated Acclimatization to Altitude // *J. Front Physiol.* 2020. Vol. 29, No. 11. P. 531. doi: 10.3389/fphys.2020.00531.
4. Karayigit R., Eser M.C., Sahin F.N. et al. The Acute Effects of Normobaric Hypoxia on Strength, Muscular Endurance and Cognitive Function: Influence of Dose and Sex // *Biology (Basel)*. 2022. Vol. 11, No. 2. P. 309.
5. Zahodyakina K.Yu., Kuzmin A.V., Kovaleva Yu.A. Combined physical and hypoxic exercises — a perspective drug-free method for increasing physical working capacity // *Human. Sport. Medicine*. 2021. Vol. 21, No. 1. P. 124–131.
6. Hamlin M.J., Hellems J. Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological, and performance parameters in multi-sport athletes // *J. Sports Sci.* 2007. Vol. 25, No. 4. P. 431–441. doi: 10.1080/02640410600718129.
7. Mandel' I.A., Podoksenov A.Yu., Sukhodolo I.V. et al. Myocardial Protection against Ischemic and Reperfusion Injuries (Experimental Study) // *Bul. Experim. Biol. Med.* 2017. Vol. 164. P. 21–25.
8. Xu K., Lamanna J.C. Short-term hypoxic preconditioning improved survival following cardiac arrest and resuscitation in rats // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2014. Vol. 812. P. 309–315.
9. Любимов А.В., Черкашин Д.В., Аланичев А.Е. Перспективы кардиопротекции с помощью ишемического преко-ндиционирования: гипоксия-индуцируемый фактор 1 — возможный молекулярный механизм и мишень для фармакотерапии // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2017. Т. 16, № 6. с. 139–147. Lyubimov A.V., Cherkashin D.V., Alanichev A.E. Perspektivy kardioproteksii s pomoshch yu ishemicheskogo pre konditsionirovaniya: gi-poksiya-indutsiryemyy faktor 1 — vozmozhnyy molekulyarnyy mekhanizm i mishen dlya farmakoterapii // *Kardio-vaskulyarnaya terapiya i profilaktika*. 2017. Т. 16, No. 6. S. 139–147. [Lyubimov A.V., Cherkashin D.V., Alanichev A.E. Cardiocytoprotection perspectives with ischemic preconditioning: hypoxia-induced factor 1 — possible molecular mechanism and target for pharmacotherapy. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 2017, Vol. 16, No. 6, pp. 139–147 (In Russ.)]. doi: 10.15829/1728-8800-2017-6-139-147.

10. Angerer P., Nowak D. Working in permanent hypoxia for fire protection-impact on health // *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. 2003. Vol. 76, No. 2. P. 87–102. doi: 10.1007/s00420-002-0394-5.
11. Безкишкий Э.Н., Иванов А.О., Петров В.А. и др. Работоспособность человека при периодическом пребывании в гипоксических воздушных средах, снижающих пожароопасность гермообъектов // *Экология человека*. 2018. № 9. с. 4–12. [Bezkishkii E.N., Ivanov A.O., Petrov V.A., Eroshenko A.Yu., Groshilin V.S., Anistratenko L.G., Linchenko S.N. Rabotosposobnost' cheloveka pri periodicheskom prebyvanii v gipoksicheskikh vozdushnykh sredakh, snizhayushchikh pozharoopasnost' germob'yektov // *Ekologiya cheloveka*. 2018. No. 9. S. 4–12 [Bezkishkii E.N., Ivanov A.O., Petrov V.A., Eroshenko A.Yu., Groshilin V.S., Anistratenko L.G., Linchenko S.N. Human Working Capacity in Periodic Stay in Hypoxic Air Environments, Reducing the Fire Hazard of Sealed Objects. *Human Ecology*, 2018, No. 9, pp. 4–12 (In Russ.)].
12. Gustafsson C., Gennser M., Ornhaugen H., Derfeldt G. Effects of normobaric hypoxic confinement on visual and motor performance // *Aviat. Space Environ. Med*. 1997. Vol. 68, No. 11. P. 985–992.
13. Иванов А.О., Беляев В.Ф., Ерошенко А.Ю. и др. Сравнительная характеристика физиологической адаптации человека при различных режимах пребывания в нормобарических гипоксических средах, снижающих пожароопасность объектов ВМФ // Характеристика физиологической адаптации человека при различных режимах пребывания в нормобарических гипоксических средах, снижающих пожароопасность объектов ВМФ // *Морская медицина*. 2020. Т. 6, № 2. с. 49–58. Ivanov A.O., Belyaev V.F., Eroshenko A.Yu. et al. Sravnitel'naya kharakteristika fiziologicheskoy adaptatsii cheloveka pri razlichnykh rezhimakh prebyvaniya v normobaricheskikh gipoksicheskikh sredakh, snizhayushchikh pozharoopasnost' ob'yektov VMF // *Kharakteristika fiziologicheskoy adaptatsii cheloveka pri razlichnykh rezhimakh prebyvaniya v normobaricheskikh gipoksicheskikh sredakh, snizhayushchikh pozharoopasnost' ob'yektov VMF* // *Morskaya meditsina*. 2020. T. 6, No. 2. S. 49–58. [Ivanov A.O., Belyaev V.F., Eroshenko A.Yu. et al. Characteristics of physiological adaptation of human under various residence modes in normobaric hypoxic environment reducing the fire hazard of navy objects. *Marine medicine*, 2020, Vol. 6, No 2, pp. 49–58 (In Russ.)]. doi: 10.22328/2413-5747-2020-6-2-49-58.
14. Linde L., Gustafsson C., Ornhaugen H. Effects of reduced oxygen partial pressure on cognitive performance in confined spaces // *Military Psychol*. 1997. Vol. 9 (2). P. 151–168. doi: 10.1207/s15327876mp0902_3.
15. Ищенко А.Д., Роечко В.В., Малыгин И.Г. Пожарная опасность и особенности тушения пожаров энергетических установок и помещений судов // *Морские интеллектуальные технологии*. 2018. Т. 1, № 39 (1). с. 89–94. [Ishchenko A.D., Roenko V.V., Malygin I.G. Pozharnaya opasnost' i osobennosti tusheniya pozharov energeticheskikh ustanovok i pomeshcheniy sudov // *Morskiye intellektual'nyye tekhnologii*. 2018. T. 1, No. 39 (1). S. 89–94 [Ishchenko A.D., Roenko V.V., Malygin I.G. Fire danger and features of extinguishing fires of power plants and ship premises. *Marine intelligent technologies*, 2018, No. 1 (39), pp. 89–94 (In Russ.)].
16. Петров В.А., Иванов А.О. Перспективные пути повышения пожарной безопасности энергонасыщенных обитаемых герметичных объектов // *Безопасность жизнедеятельности*. 2018. № 10. с. 37–39. Petrov V.A., Ivanov A.O. Perspektivnyye puti povysheniya pozharnoy bezopasnosti energonasyshchennykh obitayemykh germetichnykh ob'yektov // *Bezopasnost' zhiznedeятel'nosti*. 2018. No. 10. S. 37–39. [Petrov V.A., Ivanov A.O. Promising Ways to Increase the Fire Safety of Energy-Saturated Inhabited Sealed Objects. *Life Safety*, 2018, No. 9, pp. 37–39 (In Russ.)].
17. Williams Th.B., Corbett J., McMorris T. et al. Cognitive performance is associated with cerebral oxygenation and peripheral oxygen saturation, but not plasma catecholamines, during graded normobaric hypoxia // *J. Exp. Physiol*. 2019. Vol. 104, No. 9. P. 1384–1397. doi: 10.1113/EP087647.
18. Kim Chul-Ho, Edward J. R., Seo Y. et al. Low intensity exercise does not impact cognitive function during exposure to normobaric hypoxia // *J. Physiol. Behav*. 2015. Vol. 151. P. 24–28. doi: 10.1016/j.physbeh.2015.07.003.
19. Lefferts W.K., Babcock M.C., Tiss M.J. et al. Effect of hypoxia on cerebrovascular and cognitive function during moderate intensity exercise // *J. Physiol Behav*. 2016. Vol. 165. P. 108–118. doi: 10.1016/j.physbeh.2016.07.003.
20. Петров В.А., Майоров И.В., Янцевич П.В., Иванов А.О. Стенд-модель судовых помещений для моделирования обитаемости и режимов жизнедеятельности «МОРЖ» и его инженерное обеспечение // *Вопросы оборонной техники*. 2016. Вып. 7–8 (97–98). с. 104–110. Petrov V.A., Mayorov I.V., Yantsevich P.V., Ivanov A.O. Stend-model' sudovykh pomeshcheniy dlya modelirovaniya obitayemosti i rezhimov zhiznedeятel'nosti «MORZH» i yego inzhenernoye obespecheniye // *Voprosy oboronnoy tekhniki*. 2016. Vyp. 7–8 (97–98). S. 104–110. [Petrov V.A., Mayorov I.V., Yantsevich P.V., Ivanov A.O. Stand-model of ship premises for modeling habitability and operating modes «MHOM» and its engineering support. *Questions of defense technology*, 2016, Iss. 7–8 (97–98), pp. 104–110 (In Russ.)].