

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ИНВАЗИВНОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ STELLAR ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ЖИДКОСТНОГО ДЫХАНИЯ В УСЛОВИЯХ ГИПЕРБАРИЧЕСКОГО СТЕНДА: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Г.Н. Собынина*, С.Ю. Мальков, М.И. Павлов

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

ЦЕЛЬ: Изучение особенностей применения системы инвазивной телеметрии Stellar при технологии жидкостного дыхания в условиях избыточного давления водной среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Жидкостное дыхание в условиях гипербарии изучали на испытательном гипербарическом стенде, обеспечивающем имитацию погружения/всплытия лабораторного животного до глубин 1500 м. Динамический мониторинг основных показателей функциональных систем организма лабораторного животного осуществлялся с помощью монитора пациента Dixon Storm 5770 Vet. В ходе стендовых испытаний в режиме реального времени регистрировались частота самостоятельного дыхания лабораторного животного, температура ядра тела (Т °С), частота сердечных сокращений (ЧСС), данные электрокардиографического исследования посредством инвазивной телеметрии Stellar.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Перед стендовыми испытаниями в организм лабораторного животного имплантирована система инвазивной телеметрии Stellar. Процесс имитации погружения/всплытия лабораторных животных на гипербарическом стенде составил 390 сек при общем времени иммерсии 570 сек. В ходе стендовых испытаний у лабораторных животных наблюдалась гипотермия при ректальной температуре 32,1 °С, дыхание лабораторных животных после декомпрессии регистрировалось на уровне 28 дых. дв. /мин. После извлечения лабораторного животного из гипербарического стенда зафиксирована брадикардия на уровне 66–70 уд./мин. Под воздействием декомпрессии у подавляющего большинства лабораторных животных выявлено полное восстановление синусового ритма. Наряду с этим у 2 лабораторных животных с элевацией и депрессией сегмента ST, спровоцированных гипоксией миокарда, восстановление ритма не зарегистрировано.

ОБСУЖДЕНИЕ: При различных режимах барометрического давления в условиях жидкостного дыхания на гипербарическом стенде у лабораторных животных регистрировалась гипотермия, сопровождающаяся преходящими ишемическими изменениями миокарда, детерминированная длительностью и глубиной погружения. Проведение жидкостной респираторной десатурации в условиях ультрабыстрой декомпрессии выявило обратно пропорциональную зависимость функции внешнего дыхания от основных характеристик внешней среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Показана целесообразность применения испытательного гипербарического стенда, позволяющего моделировать высокое гидростатическое давление для имитации погружения/всплытия лабораторных животных при изучении технологии жидкостного дыхания. В ходе стендовых испытаний засвидетельствована незаменимость применения системы инвазивной телеметрии Stellar для мониторинга функциональных параметров лабораторных животных, позволяющая судить об особенностях адаптации организма в экстремальных условиях водной среды. Проведение жидкостной респираторной десатурации в условиях ультрабыстрой декомпрессии выявило обратно пропорциональную зависимость функции внешнего дыхания от основных характеристик внешней среды. Систематизированные эмпирические данные указывают на перспективность применения системы инвазивной телеметрии Stellar при изучении жидкостного дыхания в условиях гипербарического стенда.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, жидкостное дыхание, имплантация, инвазивная телеметрия, респираторная десатурация, гипербарический стенд

*Для корреспонденции: Собынина Галина Николаевна, e-mail: galsob@rambler.ru

*For correspondence: Galina N. Sobyantina, e-mail: galsob@rambler.ru

Для цитирования: Собынина Г.Н., Мальков С.Ю., Павлов М.И. Применение системы инвазивной телеметрии stellar при изучении технологии жидкостного дыхания в условиях гипербарического стенда // *Морская медицина*. 2023. Т. 9, № 2. С. 90-97, doi: <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-2-90-97> EDN: <https://elibrary.ru/QSSLOE>

For citation: Sobyantina G.N., Malkov S.Yu., Pavlov M.I. Application of stellar invasive telemetry system in the study of liquid breathing technology in hyperbaric stand // *Marine Medicine*. 2023. Vol. 9, № 2. С. 90-97, doi: <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-2-90-97> EDN: <https://elibrary.ru/QSSLOE>

APPLICATION OF STELLAR INVASIVE TELEMETRY SYSTEM IN THE STUDY OF LIQUID BREATHING TECHNOLOGY IN HYPERBARIC STAND : EXPERIMENTAL STUDY

*Galina N. Sobyantina**, *Sergey Yu. Malkov*, *Mikhail I. Pavlov*
Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

OBJECTIVE: To study specific features of the invasive telemetry system Stellar in implementing liquid breathing technology under excessive water pressure.

MATERIALS AND METHODS: The study of liquid breathing in hyperbaric conditions was carried out on the hyperbaric stand, providing a simulated immersion/emersion of a laboratory animal up to a depth of 1500 m. Dynamic monitoring of key indicators of the animal's body functional systems was performed with the patient monitor Dixon Storm 5770 Vet. During bench tests, the frequency of the laboratory animal's independent breathing, the core body temperature (T^oC), heart rate (HR), electrocardiographic research data through invasive telemetry Stellar were recorded in real time.

RESULTS: Before the bench tests the invasive telemetry system Stellar was implanted in the body of the laboratory animal. The process of simulated immersion/emersion of laboratory animals on the hyperbaric stand was 390 sec. at a total immersion time 570 sec. During the bench tests the laboratory animals experienced hypothermia with a rectal temperature 32,1 °C, their breathing after decompression was registered at the level of 28 breaths /min. Bradycardia was recorded at a level of 66-70 beats/min after extracting the laboratory animal from the hyperbaric stand. Under decompression the vast majority of the laboratory animals showed full restoration of the sinus rhythm. At the same time, restoration of the rhythm was not recorded with 2 laboratory animals with ST-segment elevation and depression, provoked by myocardial hypoxia.

DISCUSSION: Under different modes of barometric pressure during liquid breathing on the hyperbaric stand the laboratory animals experienced hypothermia, accompanied by transient ischemic changes in the myocardium, determined by immersion length and depth. Liquid respiratory desaturation under ultra-fast decompression revealed inversely proportional dependence of external respiration function on the basic characteristics of the external environment.

CONCLUSION: The expedience of applying the test hyperbaric stand, which allows to simulate high hydrostatic pressure for imitating immersion/emersion of laboratory animals when studying liquid breathing technology. The bench tests at-tested indispensability of applying the invasive telemetry system Stellar for monitoring functional parameters of laboratory animals, measuring peculiarities of body's adaptation in extreme water conditions. Liquid respiratory desaturation under ultra-fast decompression revealed inversely proportional dependence of external respiration function on the basic characteristics of the external environment. Systematic empirical data indicate potential benefit from the invasive telemetry system Stellar in studying liquid breathing under the conditions of hyperbaric stand

KEYWORDS: liquid breathing, implantation, invasive telemetry, respiratory desaturation, hyperbaric stand

Введение. Современный этап технологического развития общества определяет высокую востребованность проблемно-ориентированной тематики научно-исследовательских работ. В этой связи особое значение приобретают вопросы проектирования и разработки альтернативных методов и средств аварийного спасения персонала с больших глубин. Приоритетность этого научного направления продиктована потенциальной возможностью решения вопросов защиты организма от экстремальных степеней компрессии. В свете решения этих прикладных задач не ослабевает интерес и к изучению декомпрессионных расстройств, вызванных пребыванием организма в условиях избыточного гидростатического давления. В соответствии с

этим большое научное и практическое значение представляет решение актуальных задач по защите основных функциональных систем организма от повреждающих факторов водной среды.

Перспективу для решения данной проблемы, на наш взгляд, открывает изучение жидкостной искусственной вентиляции легких (ИВЛ), находящейся в фокусе исследовательского внимания. Интерес к изучению технологии жидкостного дыхания (ЖД) предопределен особенностями «...газообмена в легких, при котором отсутствует граница «газ – жидкость» и доставка, и элиминация дыхательных газов происходит посредством дыхательных жидкостей – перфторуглеродов, способных под-

держивать адекватный газообмен в альвеолах благодаря высокой растворимости кислорода и углекислого газа» [1, 2]. По мнению ряда авторов [3–5], преимущество жидкостной вентиляции детерминировано «...улучшенным рекрутированием легких из-за более низкого поверхностного натяжения перфторуглеродов и тем, что жидкость имеет тенденцию к распределению в зависимые области легких». В этой связи весьма полезными оказались результаты исследований В.В. Мороз с соавт., рассматривающих в своих работах применение перфторана в условиях ИВЛ для больных с острым респираторным дистресс-синдромом различного генеза и влиянием его на газообмен, биомеханические свойства легких и кардиогемодинамику [6, 7]. По мнению В.Н. Попцова, А.Е. Баландюк, «...введение перфторуглеродных соединений в сочетании с традиционной искусственной вентиляцией легких является перспективным направлением улучшения оксигенирующей функции легких» [8, 9]. Однако до конца невыясненным остается механизм адаптации организма при замене газовой среды в легких на жидкостную. Не является полностью определенным алгоритм (регламент) технологии ЖД для обеспечения оптимальной защиты органов и тканей живого организма от повреждающих факторов водной среды [10, 11]. Требуют детального изучения вопросы протекторного действия перфторуглеродов на функционирование дыхательной, сердечно-сосудистой и другие системы организма лабораторных животных. Тем самым аналитический обзор научных источников подтверждает целесообразность развития научного направления в области жидкостного дыхания.

Цель. Изучить особенности функционирования основных систем организма лабораторных животных под воздействием технологии жидкостного дыхания. В этой связи целью работы стало изучение особенностей применения системы инвазивной телеметрии Stellar при осуществлении технологии жидкостного дыхания в условиях избыточного давления водной среды.

Материалы и методы. Исследование проводили на базе ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» (ФГАОУ ВО «СевГУ») в научно-исследовательской лаборатории «Экспериментальные системы жизнеобеспечения биологических объектов» (НИЛ «ЭСЖБО», г. Севастополь). Эксперименталь-

ная оценка возможности использования принудительного жидкостного дыхания в условиях гипербарии и после нее осуществлялась на крупных лабораторных животных (собаках породы метис малинуа). Выбор данного вида лабораторных животных для проведения исследований обусловлен максимальной близостью их аллометрических межвидовых соотношений к организму человека по критическим параметрам дыхательной и сердечно-сосудистой систем. В опытно-экспериментальной работе задействовали 5 лабораторных животных в возрасте 4–6 мес.

Важно обозначить, что продуктивность исследования технологии жидкостного дыхания может быть достигнута только с помощью соответствующего технического оснащения – аппарата газожидкостной ИВЛ с внешними питанием и системой управления для опытно-экспериментальных работ. С этой целью на базе ФГАОУ ВО «СевГУ» был создан испытательный гипербарический стенд с возможностью имитации погружения/всплытия до глубин 1500 м (УНУ: ГБС, рег. номер 673917; СЖБО 441371.001; <https://ckp-rf.ru/usu/673917/>). Уникальная научная установка, созданная сотрудниками НИЛ «ЭСЖБО», позволяла проводить опытно-экспериментальные работы по оценке влияния высокого (до 15 МПа) гидростатического давления пресной воды на жизнедеятельность лабораторных животных.

Состояние основных систем организма лабораторных животных при проведении ЖД в условиях гипербарии и после нее оценивали с использованием монитора пациента Dixon Storm 5770 Vet. В ходе стендовых испытаний в режиме реального времени регистрировались частота самостоятельного дыхания лабораторного животного, температура ядра тела ($T^{\circ}C$), частота сердечных сокращений (ЧСС), данные электрокардиографического исследования посредством инвазивной телеметрии Stellar (430001-REC-01) производства фирмы TSE Systems (Германия). Система представляет собой имплантируемый в организм лабораторного животного транспондер с электродами для регистрации ЭКГ со встроенным датчиком температуры, антенной-приемником с соответствующим программным обеспечением. Сущность методики заключается в регистрации ЭКГ и температуры тела лабораторного животного, находящегося в жидкости в услови-

ях гипербарии, с помощью имплантируемого транспондера системы инвазивной телеметрии Stellar (рис. 1). Посредством антенны-приемника зарегистрированные эмпирические данные поступали на персональный компьютер для анализа и последующей обработки.

В качестве дыхательной жидкости в опытно-экспериментальном исследовании применяли перфтордикалин – ПФД ($C_{10}F_{18}$) с относительной молекулярной массой 462,08 у.е. и 93 % содержанием основного вещества в дыхательной жидкости (в соответствии с ТУ 95.1233-92). Насыщение дыхательной жидкости O_2 и вытеснение CO_2 осуществлялись методом барботирования. При респираторной десатурации температура дыхательной жидкости, находящейся в дополнительной капсуле, составляла 30 °С, содержание кислорода на выходе концентратора – 95 %, при этом насыщенность ПФД кислородом дыхательной жидкости при погружении лабораторного животного составляла в диапазоне 80–86 об %. Статистическую обработку полученных результатов не проводили в связи с незначительным количеством связанных опытно-экспериментальных наблюдений.

Результаты. Изучение лабораторных животных в процессе жидкостного дыхания в условиях гипербарического стенда регламентировалось программой исследования НИЛ «ЭСЖБО» ФГАОУ ВО «СевГУ». Для получения объективных физиологических данных о состоянии кардиореспираторной системы и температуры ядра тела лабораторных животных при имитации погружения-всплытия на гипербарическом стенде очевидна облигаторность имплантации транспондера системы инвазивной

телеметрии Stellar. Транспондер имплантировали за 14 дней до стендовых испытаний лабораторного животного (рис. 2). Транспондер располагали под мечевидным отростком брюшной полости лабораторного животного, где его закрепляли нерассасывающимся шовным материалом к внутренней стенке брюшной полости животного. ЭКГ-электроды, передающие сигнал к транспондеру, фиксировали в местах, соответствующих стандартному II отведению по Эйнтховену: один (голубой, отрицательный) – над правой грудной мышцей; другой (розовый, положительный) – в левой каудальной области ребер, примерно на 2 см левее мечевидного отростка.

При помощи металлического троакара прокладывался тоннель для помещения отрицательного (голубого) и положительного (розового) электродов от брюшного разреза до правой грудной мышцы. Референтный короткий белый электрод закрепляли на внутренней части брюшной мышцы на расстоянии 0,5 см от срединного разреза. После установки транспондера послойно ушивали лапаротомический разрез. В послеоперационном периоде проводилась обработка швов, антибактериальная терапия до момента заживления операционной раны. На рис. 3 изображен рентгеновский снимок лабораторного животного после имплантации транспондера. Для передачи информации с транспондера лабораторное животное располагали максимально близко к антенне системы инвазивной телеметрии Stellar. Информацию считывали посредством программного обеспечения системы инвазивной телеметрии Stellar, обеспечивающей графическую визуализацию

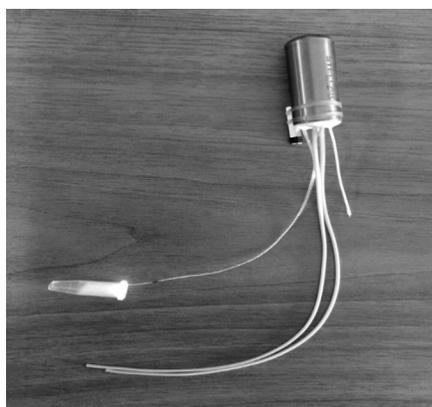


Рис.1. Система инвазивной телеметрии Stellar (430001-REC- TSE) Systems
Fig. 1. Stellar Invasive Telemetry System (430001-REC-TSE) Systems

экспериментальных данных (фрагментарно 30-секундными временными интервалами с промежутками в 120 сек).

Стендовые испытания включали следующие этапы: подготовку к погружению (тестирование диагностического оборудования, перевод животного на самостоятельное жидкостное дыхание в иммерсии в дыхательной жидкости, герметизация капсулы); погружение/всплытие; извлечение животного из иммерсионной среды и перевод на самостоятельное газовое дыхание или ИВЛ на фоне мероприятий интенсивной терапии.

В ходе исследования была проведена клинико-физиологическая оценка состояния основных функциональных систем лабораторных животных под воздействием различных режимов барометрического давления в условиях жидкостного дыхания (при имитации погружения/всплытия до глубин 500 м).

Процесс имитации погружения/всплытия на гипербарическом стенде составил 390 сек при

общем времени иммерсии 570 сек, при этом наблюдалось существенное снижение температуры тела лабораторного животного, ректальная температура составляла 32,1 °С. Дыхание лабораторных животных после декомпрессии регистрировалось на уровне 28 дых. дв./мин. После извлечения лабораторного животного из капсулы зафиксирована брадикардия на уровне 66–70 уд./мин. У подавляющего большинства лабораторных животных диагностировано полное восстановление синусового ритма после всплытия. Важно обозначить, что у лабораторных животных с элевацией или депрессией сегмента *ST* восстановление сердечного ритма не происходило. Восстановление синусового ритма после извлечения не наблюдалось и при незначительной депрессии сегмента *ST* на 0,1 мВ, спровоцированной гипоксией миокарда и формированием эктопических очагов возбуждения по типу re-entry.

Обсуждение. В исследуемой научной проблематике важное значение приобретает физио-

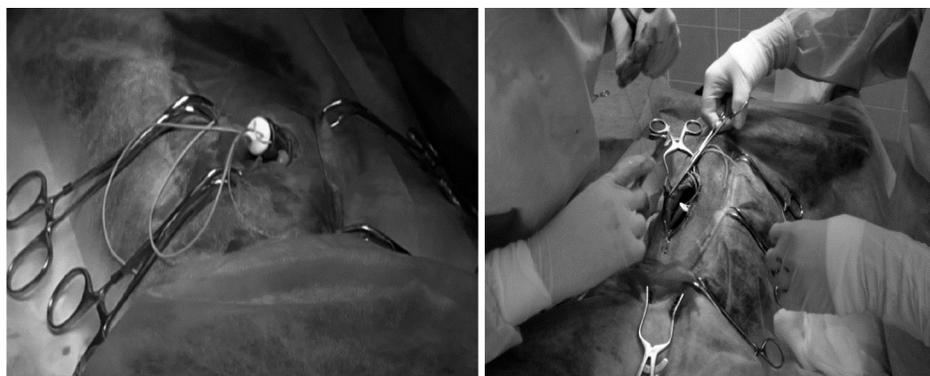


Рис. 2. Имплантация транспондера Stellar в организм лабораторного животного
Fig. 2. Implantation of the Stellar transponder into the body of a laboratory animal

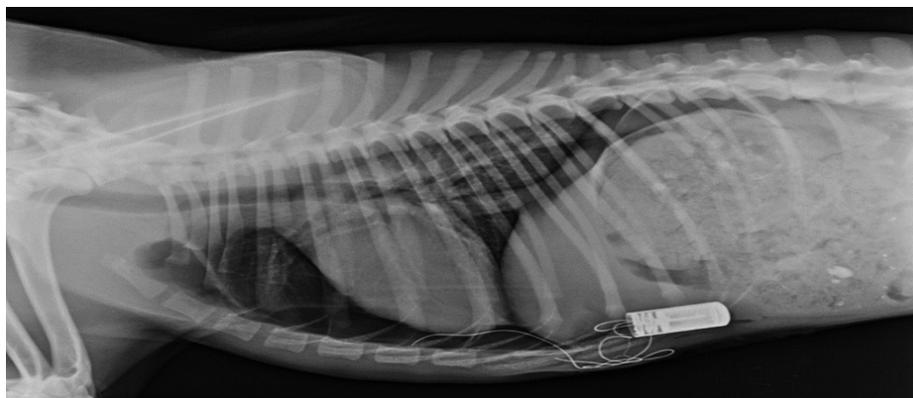


Рис. 3. Рентгенографический снимок лабораторного животного после имплантации транспондера Stellar (в боковой проекции)

Fig. 3. X-ray image of a laboratory animal after implantation of the Stellar transponder (lateral view)

лого-динамический мониторинг показателей основных функциональных систем организма, позволяющий получить достоверную информацию об особенностях адаптации лабораторных животных в условиях избыточного давления водной среды.

Перед проведением стендовых испытаний ветеринарный осмотр лабораторных животных выявил удовлетворительный неврологический статус, основные показатели кардиореспираторной системы лабораторных животных находились в пределах физиологической нормы. Перед помещением их в капсулу гипербарического стенда отмечался синусовый регулярный ритм с умеренной тахикардией, предположительно обусловленной возбуждением ЦНС. Все интервалы и комплексы ЭКГ находились в референсных значениях.

При погружении лабораторного животного в водную среду гипербарического стенда наблюдалось стойкое подавление функции синоатриального узла с преобладанием предсердного блуждающего ритма (блуждающий пейсмейкер). С увеличением гидростатического давления водной среды отмечалось изменение ритма на желудочковый нерегулярный.

На этапе декомпрессии у испытуемых выявлен рост ЧСС при сохраняющихся на определенном отрезке времени признаках ишемии миокарда. После извлечения лабораторного животного из гипербарического стенда на фоне самостоятельного дыхания и гипотермии отмечалось восстановление частоты сердечных сокращений и исчезновение электрокардиографических признаков ишемии.

Важно отметить, что в ходе стендовых испытаний, в процессе имитации погружения/всплытия наблюдалось существенное снижение температуры тела лабораторного животного. Предположительно, зарегистрированную реакцию связывали с быстрым охлаждением дыхательной жидкости в капсуле гипербарического стенда. При этом обращает на себя внимание обратно пропорциональная зависимость функции внешнего дыхания испытуемых от основных характеристик окружающей среды (температуры пресной воды и барометрического давления).

После извлечения из стенда сознание лабораторных животных было угнетено (вследствие медикаментозной седатации). Кожные покровы бледные, холодные, видимые слизистые бледные. В дальнейшем происходило восстановле-

ние показателей внешнего дыхания и системной гемодинамики по мере нормализации температурного гомеостаза на фоне проводимой терапии, включающей согревание, форсированный диурез, десенсибилизирующую и антибактериальную терапию, применение кардиотонических и обезболивающих средств, введение антикоагулянтов и ноотропных препаратов. У 3 лабораторных животных фиксировалось полное восстановление синусового ритма. У 2 лабораторных животных с элевацией или депрессией сегмента *ST* (как маркера ишемии и острого повреждения миокарда) восстановление ритма не зарегистрировано. Восстановление синусового ритма после извлечения не наблюдалось и при незначительной депрессии сегмента *ST* на 0,1 мВ. Необходимо обозначить также, что дальнейшее динамическое наблюдение за физиологическим статусом лабораторных животных не выявило патологических изменений кардиореспираторной системы. Таким образом, можно предположить, что изменения электрической активности сердца исследуемых лабораторных животных в ходе опытно-экспериментальных работ были спровоцированы гипоксией миокарда и формированием эктопических очагов возбуждения по типу re-entry.

Заключение. В ходе настоящего исследования показана целесообразность применения испытательного гипербарического стенда, позволяющего моделировать высокое гидростатическое давление для имитации погружения/всплытия лабораторных животных. Под воздействием различных режимов барометрического давления в условиях жидкостного дыхания у лабораторных животных регистрировалась гипотермия, сопровождающаяся переходящими ишемическими изменениями миокарда, детерминированная длительностью и глубиной погружения. Проведение жидкостной респираторной десатурации в условиях ультрабыстрой декомпрессии выявило обратно пропорциональную зависимость функции внешнего дыхания от основных характеристик водной среды. В ходе стендовых испытаний зафиксирована целесообразность применения системы инвазивной телеметрии Stellar для мониторинга функциональных параметров испытуемых, позволяющей судить об особенностях адаптации организма в экстремальных условиях внешней среды при изучении технологии жидкостного дыхания. Систематизиро-

ванные эмпирические данные указывают на перспективность применения телеметрической системы Stellar при дальнейшем изучении протекторного действия жидкостного дыхания от повреждающих факторов водной среды при свободном всплытии с больших глубин.

Работа выполнена при поддержке программы Приоритет-2030 ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» (стратегический проект №2 «Прорывные исследования и разработки в области жидкостного дыхания»).

Сведения об авторах:

Собянина Галина Николаевна - кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Экспериментальные системы жизнеобеспечения биологических объектов» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»; 299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33; e-mail: galsob@rambler.ru; SPIN: 5043-3075; ORCID 0000-0002-5988-0765

Мальков Сергей Юрьевич – врач по водолазной медицине (специфизолог), руководитель медико-биологической группы научно-исследовательской лаборатории «Экспериментальные системы жизнеобеспечения биологических объектов» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»; 299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33; e-mail: sklif@bk.ru

Павлов Михаил Игоревич – инженер 2-й категории научно-исследовательской лаборатории «Экспериментальные системы жизнеобеспечения биологических объектов» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»; 299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33; e-mail: mixail.pavlov.1993@mail.ru; ORCID 0000-0001-9998-2080; SPIN: 4194-0706,

Information about the authors:

Galina N. Sobyayina – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Leading Researcher of the Research Laboratory “Experimental Life Support Systems for Biological Objects”, Sevastopol State University; 299053, Russia, Sevastopol, st. Universitetskaya, 33; e-mail: galsob@rambler.ru; ORCID 0000-0002-5988-0765; SPIN: 5043-3075

Sergey Yu. Malkov – diving medicine doctor (special physiologist), head of the biomedical group of the research laboratory “Experimental life support systems for biological objects”, Sevastopol State University; 299053, Russia, Sevastopol, st. University, 33; e-mail: sklif@bk.ru

Mikhail I. Pavlov – engineer of the 2nd category of the research laboratory Experimental life support systems for biological objects, Sevastopol State University; 299053, Russia, Sevastopol, st. Universitetskaya, 33, e-mail: mixail.pavlov.1993@mail.ru; ORCID 0000-0001-9998-2080; SPIN: 4194-0706

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).

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Соответствие принципам этики: Исследование было одобрено на заседании Локального этического комитета ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова» (выписка из протокола заседания № 8 от 19.10.2022). Исследования на животных проводились в соответствии с требованиями Международной декларации о защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей.

Adherence to ethical standards: The study was approved at a meeting of the Local Ethics Committee of the Federal State Budgetary Institution Scientific Research Institute of Occupational Medicine named after Academician N.F. Izmerov” (extract from the minutes of the meeting No. 8 of 10/19/2022). Animal studies were conducted in accordance with the requirements of the International Declaration for the Protection of Vertebrate Animals used for experimental and other scientific purposes.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Поступила/Received: 10.04.2023

Принята к печати/Accepted: 02.05.2023

Опубликована/Published: 30.06.2023

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Корепанов А.Л. Жидкостное дыхание. Частичная жидкостная вентиляция легких (сообщение первое) // *Вестник физиотерапии и курортологии*. 2018. Т. 24, № 2. С. 62–70 [Korepanov A.L. Liquid breathing. Partial liquid ventilation of the lungs (first message). *Bulletin of Physiotherapy and Balneology*, 2018, Vol. 24, No. 2, pp. 62–70 (In Russ.)].
2. Корепанов А.Л., Шуневыч О.Б., Василенко И.Ю. Жидкостное дыхание. Тотальная жидкостная вентиляция легких (сообщение второе) // *Вестник физиотерапии и курортологии*. 2018. Т. 24, № 4. С. 86–93 [Korepanov A.L., Shunevych O.B., Vasilenko I.Yu. Liquid breathing. Total liquid ventilation of the lungs (second message). *Bulletin of Physiotherapy and Balneology*, 2018, Vol. 24, No. 4, pp. 86–93 (In Russ.)].
3. Lee W.L., Slutsky A.S. *Acute Hypoxemic Respiratory Failure and ARDS Murray and Nadel's Textbook of Respiratory Medicine (Sixth Edition)*. 2016, Vol. 2, pp. 1740–1760.e7. doi: 10.1016/B978-1-4557-3383-5.00100-7

4. Hirschl R.B., Croce M., Gore D., et al. Prospective, randomized, controlled pilot study of partial liquid ventilation in adult acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002, Vol. 165, pp. 781.
5. Suman Sarkar, Anil Paswan, Prakas S. Liquid ventilation. *Anesth Essays Res*, 2014, Vol. 8, № 3, pp. 277–282. doi: 10.4103/0259-1162.143109
6. Мороз В.В., Власенко А.В., Закс И.О. Жидкостная вентиляция легких, ее возможности и перспективы (современное состояние вопроса) // *Анестезиология и реаниматология.* 2001. N 6. С. 66–73 [Moroz V.V., Vlasenko A.V., Zaks I. O. Liquid ventilation of the lungs, its possibilities and prospects (current state of the issue), *Anesthesiology and resuscitation*, 2001, N 6, pp. 66–73 (In Russ.)].
7. Мороз В.В., Остапченко Д.А., Власенко А.В., Осипов П.Ю., Герасимов Л.В. Эндотрахеальное применение перфторана в условиях ИВЛ у больных с острым респираторным дистресс-синдромом // *Общая реаниматология.* 2005. Т. 2. С. 5–11 [Moroz V.V., Ostapchenko D.A., Vlasenko A.V., Osipov P.Yu., Gerasimov L.V. Endotracheal use of perftoran under mechanical ventilation in patients with acute respiratory distress syndrome. *General resuscitation*, 2005, Vol. 2, pp. 5–11 (In Russ.)].
8. Попцов В.Н., Баландюк А.Е. Первый клинический опыт использования частичной жидкостной вентиляции на основе эндобронхиального введения перфторана в комплексной терапии респираторного дистресс-синдрома. *Российский биомедицинский журнал Medline.ru.* 2004. Т. 5. С. 173–174 [Poptsov V.N., Balandyuk A.E. The first clinical experience of using partial liquid ventilation based on endobronchial administration of perftoran in the complex therapy of respiratory distress syndrome. *Russian Biomedical journal Medline.ru*, 2004, Vol. 5, pp. 173–174 (In Russ.)].
9. Баринов В.А., Бонитенко Е.Ю., Белякова Н.А., Родченкова П.В., Тоньшин А.А., Панфилов А.В., Бала А.М., Головки А.И., Шилов В.В. Использование перфторуглеродных жидкостей в лечении респираторного дистресс-синдрома (обзор литературы) // *Российский биомедицинский журнал. Medline.ru.* 2022. Т. 23, № 1. С. 515–555. [Barinov V.A., Bonitenko E.Yu., Belyakova N.A., Rodchenkova P.V., Tonshin A.A., Panfilov A.V., Bala A.M., Golovko A.I., Shilov V.V. The use of perfluorocarbon fluids in the treatment of respiratory distress syndrome (literature review), *Russian Biomedical Journal Medline.ru.* 2022, Vol. 23, No. 1, pp. 515–555 (In Russ.)].
10. Котский М.А., Бонитенко Е.Ю., Макаров А.Ф., Каниболоцкий А.А., Кочоян А.Л., Литвинов Н.А. О возможности использования жидкостного дыхания для профилактики развития декомпрессионных нарушений // *Медицина труда и промышленная экология.* 2022. Т. 62, № 2. С. 91–100 [Kotsky M.A., Bonitenko E.Yu., Makarov A.F. Kanibolotsky A.A., Kochoyan A.L., Litvinov N.A. About the possibility of using the subsistence minimum to prevent the development of decompression disorders. *Occupational medicine and industrial ecology*, 2022, Vol. 62, No. 2, 91–100. doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-2-91-100R (In Russ.)].
11. Котский М.А., Бонитенко Е.Ю., Тоньшин А.А., Родченкова П.В., Муравская М.П., Ткачук Ю.В., Каниболоцкий А.А., Кочоян А.Л. Жидкостная респираторная десатурация — новый метод профилактики декомпрессионной болезни // *Медицина труда и промышленная экология.* 2023. Т. 63, № 1. С. 4–17. doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-1-4-17 [Kotsky M.A., Bonitenko E.Yu., Tonshin A.A., Rodchenkova P.V., Muravskaya M.P., Tkachuk Yu.V., Kanibolotsky A.A., Kochoyan A.L. Liquid respiratory desaturation — a new method of prevention of decompression sickness. *Occupational medicine and industrial ecology*, 2023, Vol. 63, No. 1, pp. 4–17. doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-1-4-17 (In Russ.)].