

## ВОЗДУШНАЯ ЭМБОЛИЯ. ПРЕРОГАТИВА ВОДОЛАЗНОГО ВРАЧА, МЕДИЦИНСКАЯ КАЗУИСТИКА ИЛИ ПРОБЛЕМА, КОТОРОЙ «НЕ СУЩЕСТВУЕТ»?

<sup>1</sup>А. Т. Логунов\*, <sup>2</sup>И. Г. Мосягин, <sup>2</sup>А. В. Строй, <sup>3</sup>Н. Б. Павлов, <sup>3</sup>Р. Р. Амиров,

<sup>4</sup>В. А. Паликов, <sup>4</sup>А. Н. Мурашёв, <sup>5</sup>Т. Е. Кузнецова, <sup>3</sup>В. М. Баранов

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

<sup>2</sup> Главное командование Военно-Морского Флота Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup> Филиал Института биоорганической химии им. академиков М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова, Пущино, Россия

<sup>5</sup> Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова, Москва, Россия

**ЦЕЛЬ.** Сместить фокус внимания практических врачей на патогенетическую роль внутрисосудистых газовых пузырей, вероятность возникновения которых велика при ранениях легкого, полых вен и венозных синусов головного мозга, а также при перепадах давления, имеющих место при воздействии на организм фронта ударной взрывной волны.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Проведен анализ литературы, опубликованной в период с 1957 года по настоящее время и находящейся в открытом доступе в Государственной центральной научной медицинской библиотеке, Научной электронной библиотеке «КиберЛенинка», Научной библиотеке ИМБП РАН, электронных базах данных РИНЦ и PubMed. Ключевые слова для поиска: воздушная эмболия, минно-взрывная травма. Проанализировано 58 статей.

**РЕЗУЛЬТАТЫ.** Воздушная эмболия чаще всего ассоциируется только с водолазной медициной. Тем не менее в хирургической практике, военной медицине и клинике внутренних болезней встречаются тяжелые (и фатальные) проявления газовых пузырьков в сосудистом русле и это нельзя игнорировать. Учитывая, что при взрывных травмах, ряде нейрохирургических, травматологических операций, в анестезиологической практике, при применении ИВЛ, в других областях медицины, нередко ситуации, при которых создаются условия для появления свободного газа в системном кровотоке, методы баротерапии могут быть востребованы значительно чаще, чем при возникновении декомпрессионных заболеваний. Гипербарическая физиология и водолазная медицина занимаются обеспечением функций организма в измененной газовой среде и комплексом мероприятий по недопущению критического состояния при выходе из нее. Также прерогативой этой области знаний является использование в лечебном процессе физических свойств измененной дыхательной газовой среды при различных давлении, температуре и сочетании компонентов.

**ОБСУЖДЕНИЕ.** По мнению авторов обзора, необходимо работать в направлении расширения представлений практических врачей (в первую очередь хирургов и анестезиологов-реаниматологов) о газовых эмболиях и методах баротерапии, расширяющих область хирургии, анестезиологии и реаниматологии, гипербарической физиологии и водолазной медицины для лечения газовых эмболий различной этиологии.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** морская медицина, газовая эмболия, воздушная эмболия, геофарм, взрывная травма, airtrash, баротерапия

\*Для корреспонденции: Логунов Алексей Тимофеевич, e-mail: [skb-imbp@bk.ru](mailto:skb-imbp@bk.ru)

\*For correspondence: Alexey T. Logunov, e-mail: [skb-imbp@bk.ru](mailto:skb-imbp@bk.ru)

---

© Авторы, 2024. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины федерального медико-биологического агентства». Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа» в соответствии с лицензией ССВУ-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

**Для цитирования:** Логунов А. Т., Мосягин И. Г., Строй А. В., Павлов Н. Б., Амиров Р. Р., Паликов В. А., Мурашев А. Н., Кузнецова Т. Е., Баранов В. М. Воздушная эмболия. прерогатива водолазного врача, медицинская казуистика или проблема, которой «не существует»? // *Морская медицина*. 2024. Т. 10, № 2. С. 58–68, doi: <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2024-10-2-58-68>; EDN: <https://elibrary.ru/TRRLCJ>

**For citation:** Logunov A. T., Mosyagin I. G., Stroy A. V., Pavlov N. B., Amirov R. R., Palikov V. A., Murashev A. N., Kuznetsova T. E., Baranov V. M. Air embolism. prerogative of diving physician, medical casuistry or problem that “does not exist”? // *Marine medicine*. 2024. Vol. 10, No. 2. pp. 58–68, doi: <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2024-10-2-58-68>; EDN: <https://elibrary.ru/TRRLCJ>

## AIR EMBOLISM. PREROGATIVE OF DIVING PHYSICIAN, MEDICAL CASUISTRY OR PROBLEM THAT “DOES NOT EXIST”?

<sup>1</sup> Alexey T. Logunov\*, <sup>2</sup> Igor G. Mosyagin, <sup>2</sup> Alexey V. Stroy, <sup>3</sup> Nikolay B. Pavlov, <sup>3</sup> Rustam R. Amirov, <sup>4</sup> Viktor A. Palikov, <sup>4</sup> Arkady N. Murashev, <sup>5</sup> Tatyana A. Kuznetsova, <sup>3</sup> Viktor M. Baranov

<sup>1</sup>Central Design Engineering Bureau of Experimental Equipment Institute of Medico-Biological Problems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>High command of the Navy of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>State Scientific Center of the Russian Federation – Institute of Medico-Biological Problems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>4</sup>The Branch of the M. M. Shemyakin and Yu. A. Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

<sup>5</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

**OBJECTIVE.** To shift the focus of practitioners' attention to pathogenetic role of intravascular gas bubbles, which likelihood is high with wounded kidney, hollow veins and venous sinuses of the brain as well as with pressure drops, occurring in case of shockwaves, exposed to the body.

**MATERIALS AND METHODS.** There was analysis of literature, published from 1957 to the present and being in the public domain in the State Central Scientific Medical Library, Scientific Electronic Library “CyberLeninka”, Scientific Library of IMBP RAS, electronic databases of RSCI and PubMed. Search keywords: air embolism, mine-blast trauma. 58 articles have been analyzed.

**RESULTS.** Air embolism is often associated with diving medicine only. Nevertheless, there are severe (and fatal) manifestations of gas bubbles in the vascular bed in surgical practice, military medicine and clinic of internal diseases, and this cannot be ignored. Given that in blast trauma, in a number of neurosurgical, trauma operations, in anesthetic practice, in the use of AVL, and in other areas of medicine there are often situations, creating conditions for the emergence of free gas in the systemic circulation, methods of barotherapy may be demanded much more frequently than in decompression sickness. Hyperbaric physiology and diving medicine are engaged in ensuring functions of the body in a changed gaseous medium and in providing a set of measures to prevent critical states while leaving it. Also, the prerogative in this field is to use the physical properties of a changed respiratory gaseous medium under different pressure, temperature and combination of components in the treatment process.

**DISCUSSION.** According to the authors of the review, it is essential to work towards developing practitioners' knowledge (especially, surgeons, anesthesiologists and resuscitators) of gas embolism and methods of barotherapy, expanding the area of surgery, anesthesiology and resuscitation, hyperbaric physiology and diving medicine to treat gas embolism of various etiologies.

**KEYWORDS:** marine medicine, gas embolism, air embolism, geofarm, blast trauma, airtrash, barotherapy

**Введение.** В июне 2022 г., во время визита в Специальное конструкторское бюро экспериментального оборудования при Институте медико-биологических проблем (ЗАО СКБ ЭО при ИМБП) РАН представитель военно-промышленной комиссии обратился к авторам статьи с просьбой направить максимум усилий коллектива на оказание медицинской помощи участникам специальной военной операции на

Украине и применить имеющиеся наработки для снижения санитарных потерь в ходе боевых действий. Институт медико-биологических проблем, помимо основной космической тематики, является центром компетенции по гипербарической физиологии и водолазной медицине. ЗАО СКБ ЭО при ИМБП РАН – это коллектив, который не только обеспечивает экспериментальные и лечебные работы на глубоководном

барокомплексе «ГВК-250» и в других подразделениях ИМБП, но и уникальное предприятие, создавшее и оснастившее структуры Военно-Морского Флота (ВМФ) РФ всеми элементами системы спасения водолазного состава при декомпрессионных заболеваниях и баротравмах. Здесь же при научно-практическом сотрудничестве с СКБ создан первый аппарат «Геофарм», предназначенный для выведения из гипотермии моряков, покидающих аварийный обитаемый подводный аппарат. В аппарате, прошедшем Государственные испытания к исходу 1997 г., использовалась подогреваемая дыхательная газовая смесь медицинского кислорода и гелия высокой чистоты [1].

Обсуждая летом 2022 г. поставленную задачу, авторы статьи заострили внимание на двух моментах. Первый: еще на заре создания «Геофарма» Б. Н. Павловым высказывались предположения, что подогреваемая кислородно-гелиевая смесь (в противоположность, например, закиси азота) будет способствовать не только согреванию ядра тела, но и нивелирует следствие возможной аварийной декомпрессии – газовые пузырьки в кровеносном русле. Второй: проблемы газовых эмболий распространяются далеко за пределы специфических водолазных заболеваний. Их возникновение, в частности, вероятно, при воздействии на организм фронта взрывной волны, в доказательство чего нами была немедленно извлечена с полки работа А.А. Найденова, выполненная в Санкт-Петербургской Военно-медицинской академии им С. М. Кирова [2], где приводятся убедительные доказательства большой роли артериальной газовой эмболии в патогенезе минно-взрывной травмы.

За истекшие со времени той программной беседы в кабинете генерального директора СКБ ЭО почти два года авторы статьи экспериментально доказали, что подогреваемая газовая смесь на основе кислорода и гелия, которую, в память о первом аппарате, они назвали «Геофарм», способна нивелировать внутрисосудистые пузыри как *in vitro*, так и в модельных экспериментах на животных. С использованием полученных экспериментальных данных и обширного собственного опыта, накопленного во время лечения COVID-19 [3–6], авторы создали временные методические рекомендации применительно к ситуации минно-взрывной травмы, которые утверждены начальником Главного военно-медицинского управления

Министерства обороны Российской Федерации (ГВМУ МО РФ) 10 июля 2023 г. [7]. Были отработаны методики применения технических средств в условиях, приближенных к реальным, получены положительные результаты лечения раненых на базе одного из центральных военных госпиталей. Казалось бы, – относительно простая, безопасная и, главное, единственно эффективная при газовой эмболии методика должна была быстро занять свое место в лечебно-реабилитационной программе при взрывной травме. Препятствием оказалось то, что диагноз артериальной газовой эмболии при повреждениях, связанных с воздействием взрывной волны, не устанавливается, в медицинской документации не фигурирует, многими хирургами этот фактор не принимается во внимание, а специалисты склонны относить всю эту проблематику к категории исключительно декомпрессионных расстройств у водолазов.

**Материал и методы.** Авторами проведен анализ литературы, опубликованной в период с 1957 г. по настоящее время и находящейся в открытом доступе в Государственной центральной научной медицинской библиотеке, Научной электронной библиотеке «КиберЛенинка», Научной библиотеке ИМБП РАН, электронных базах данных РИНЦ и PubMed. Ключевые слова для поиска: воздушная эмболия, минно-взрывная травма. Проанализировано 58 статей.

**Целью** данного обзора является попытка сместить фокус внимания практических врачей на патогенетическую роль внутрисосудистых газовых пузырей, вероятность возникновения которых велика при ранениях легкого, полых вен и венозных синусов головного мозга, а также при перепадах давления, возникающих при воздействии на организм фронта ударной взрывной волны.

**Результаты.** Настоящей опорой в нашем интеллектуальном поиске, предпринятом для достижения поставленной цели, явилось знакомство с книгой В. В. Сороки «Взрывная травма. Что делать?» [8]. Эта книга потомственного опытного военного хирурга насыщена практическим и научным материалом и, на наш взгляд, наряду с бессмертным трудом Н. М. Амосова и воспоминаниями Б. В. Петровского, «Очерками..» Б. Е. Вотчала и фундаментальными трудами В. Ф. Войно-Ясенецкого и С. С. Юдина, служит не только ценным научно-практическим материалом для врачей и ученых, но и способна вдохнов-

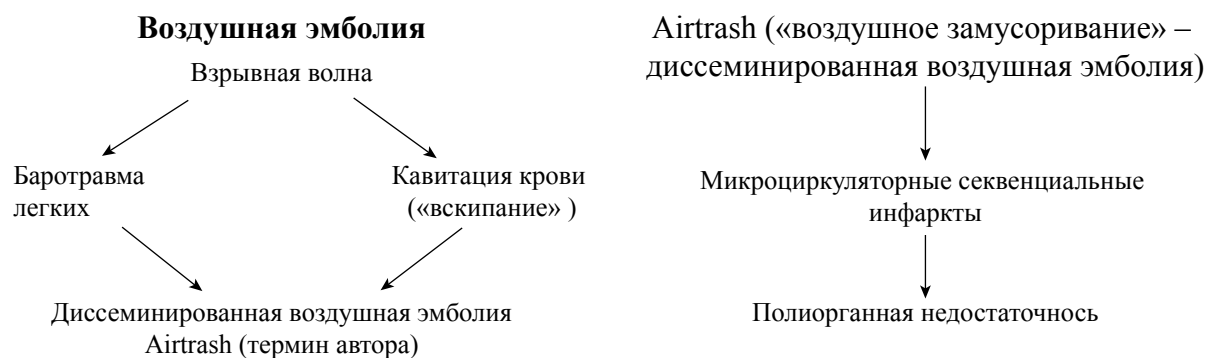
лять молодых людей посвятить свою жизнь Медицине и Родине, Любви и Правде! Пользуясь великодушием автора, сравнивающего знания с парашютом, который работает хорошо, когда открыт, и разрешившего своим читателям свободно публиковать любые материалы, представленные в книге, приведем дословно доводы В. В. Сороки относительно патогенетической роли газовой эмболии при взрывной травме: «NB! – отмечает автор, – ведущим синдромом взрывной травмы следует признать диссеминированную воздушную эмболию – массивный системный AIRTRASH, «замусоривание» артериол и мелких артерий системного кровотока и легочного кровотока пузырьками воздуха (аналог острой формы кессонной болезни)» (рис.).

Далее следуют тезисы:

1. Одномоментное поступление 100 мл воздуха в кровообращение является фатальным;
2. Кровь в результате действия фазы отрицательного давления взрывной волны «закипает»;
3. Пузыри объединяются, что порождает эффект снежного кома. К пузырькам прикрепляются тромбоциты, а затем лейкоциты. Так формируются локальные тромбы, способные окклюзировать артериолы и небольшие артерии;
4. Нарушается микроциркуляторное кровоснабжение жизненно важных органов – сердца, головного мозга, спинного мозга;
5. Страдает перфузия паренхиматозных органов (печень, почки), кишечника, мышц;
6. Клиническое проявление системных перфузионных расстройств – полиорганная недостаточность (Multiorgan Failure) [8].

Не секрет, что в современной войне преиму-

щественно используются боеприпасы фугасного и осколочно-фугасного типа. По данным, публично озвученным начальником ГВМУ МО РФ Д. С. Тришкиным (интервью от 15 декабря 2022 г.), в ходе специальной военной операции на Украине преобладают минно-взрывные травмы, доля которых в структуре санитарных потерь составляет не менее 70 %. Механизм поражающего действия ударной взрывной волны изучается давно и плодотворно. Еще в годы Первой мировой войны зарегистрировано значительное количество летальных исходов среди солдат, находящихся вблизи взрыва, при отсутствии у них каких-либо значительных внешних повреждений [9]. Исследования того и более позднего времени показали [10], что мелкие животные, находившиеся вблизи взрыва, погибали. У всех животных появлялись поражения легочной ткани, проявлявшиеся множественными кровоизлияниями. Более крупные животные при тех же условиях эксперимента выживали. В 1940 г. S. Zuckerman [11], в последующем P. L. Krohn [12] и C. J. Clemedson [13] выяснили причину повреждения легких, которая заключается в быстрой смене фаз компрессии и разряжения во фронте взрывной волны. Устанавливая животных на разном расстоянии от места взрыва, они определили видовую чувствительность животных к изменению давления во фронте ударной волны. При избыточном давлении порядка 0,3–0,4 АТИ повреждения не обнаруживали. Мелкие животные (кролики) погибали мгновенно при давлении в 3,5 атм, а все животные — при избыточном давлении в 6,85 атм. При отсут-



**Рис.** Этиопатогенез воздушной эмболии. Схемы из книги В.В. Сороки «Взрывная травма. Что делать?»

**Pic.** Etiopathogenesis of air embolism. Diagrams from the book by V.V. Soroka “Explosive trauma. What should I do?”

ствии внешних проявлений взрывной травмы на вскрытии обнаруживались кровоизлияния в легкие. Такие же повреждения наблюдались в других внутренних органах и в подслизистом слое верхней части трахеи. У всех животных отмечался разрыв барабанной перепонки.

Механизм неврологических нарушений при воздействии ударной волны был выяснен в работах U. Freund и соавт. [14], J. Groham и соавт. [15]. Установлено, что изменения в ЦНС возникают в результате воздушной эмболии. Показано, что воздушную эмболию наблюдали только в артериях, причем воздух поступал в систему кровообращения из поврежденной ткани легкого в легочные вены. У животных, погибших сразу же после взрыва, на вскрытии обнаруживались признаки воздушной эмболии коронарных артерий и головного мозга, а у проживших несколько дольше выявлялись очаговые церебральные симптомы.

В упоминаемых нами ранее работах, выполненных в стенах Военно-медицинской академии, убедительно показано, что при подрывах на противопехотных минах основное повреждающее действие на легкие и другие органы пострадавшего оказывает не столько воздушная, сколько тканевая ударная волна деформации (сжатия и растяжения). При этом образуются множественные посттравматические фистулы между воздухоносными путями и легочными венами, которые и служат входными воротами для воздушных эмболов [2, 16–20].

Общеизвестно, что среднее давление в системе малого круга кровообращения составляет 12–14 мм рт. ст., а при кашлевом толчке пиковое давление в воздухоносных путях достигает 50 мм рт. ст. и более. Неудивительно, что при образовании посттравматических фистул в легких вследствие кашля, многочисленных «воздушных ловушек», пневмоторакса и даже просто при периодичности и смене фаз дыхания, возникают условия для проникновения воздуха в систему легочных вен. Основная масса воздушных эмболов поступает в кровоток на протяжении от получаса до двух часов после травмы, а затем альвеоловенозные фистулы могут закрываться из-за ателектазирования поврежденных участков легкого и тромбоза сосудов [21]. По другим данным, при проведении искусственной вентиляции лег-

ких (ИВЛ) возможно их повторное раскрытие спустя часы и даже сутки после травмы [22].

Таким образом, подведя итог данного краткого экскурса, можно констатировать, что артериальная воздушная эмболия – это явление, закономерно сопутствующее повреждению взрывной волной и основные механизмы его развития – баротравма легких и кавитация. Образующийся в результате этих механизмов массив внутрисосудистых пузырьков, очевидно, усугубляет клиническую картину шока и в тяжелых случаях может самостоятельно приводить к летальному исходу у раненых. В доступной литературе можно найти большое количество описаний клинических примеров развившейся в результате полученных травм артериальной газовой эмболии [23–29], тем не менее отечественная медицинская школа, при том что сама обладает серьезнейшим фундаментом, традиционным научным изысканием и глубиной, практическими наработками в данном вопросе, на уровне рутинной практической деятельности, за редким исключением, газовых эмболий при взрывной травме, как уже было отмечено, не видит и не обсуждает.

Другая, редко документируемая у нас, но также активно обсуждаемая в литературе и, несомненно, присутствующая в практике проблема – это воздушные эмболии, полученные вследствие дефектов или неудач при медицинских манипуляциях. В 2007 г. в журнале *Anesthesiology* опубликован исчерпывающий обзор, посвященный данной проблеме, где в порядке убывания частоты встречаемости выделены медицинские манипуляции, представляющие опасность развития газовой эмболии. К группе высокого риска отнесены краниотомия в сидячем положении, хирургия задней черепной ямки и шеи, лапароскопические процедуры, протезирование тазобедренного сустава, кесарево сечение, манипуляции с центральным венозным катетером, пластика костей черепа; к группе среднего риска – спондилодез, шейная ламиектомия, простатэктомия, эзофагогастродуоденоскопия, радиологические исследования с контрастом, трансфузия клеточных компонентов крови, хирургия коронарных сосудов. К группе невысокого риска отнесены операции на периферических нервах, хирургия передней части шеи, манипуляции на женских половых органах и хирургия печени [30]. Как видно, список областей хирургии, несущих опасность по развитию газовой эмболии, весьма обширен.

В журнале «Вестник анестезиологии и реаниматологии» описан один из клинических случаев артериальной газовой эмболии, источником которой оказался газ в воротной вене! Диагноз при жизни пациента установлен в результате случайной находки при томографическом исследовании, выполняемом с целью исключения тромбоэмболии легочной артерии. Речь идет о пациенте, перенесшем гастропанкреатодуоденальную резекцию по поводу опухоли поджелудочной железы [31]. Послеоперационный период протекал с осложнениями и «...на 30-е сутки после операции пациент переведен из отделения реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) в онкологическое отделение для дальнейшего лечения при явной положительной динамике, улучшении заживления послеоперационной раны, заполнении ее грануляциями, уменьшении количества отделяемого по дренажной трубке из свицевого отверстия. Питание осуществлялось в энтеростому, был ежедневный самостоятельный, полуформленный стул. Нормализовалась температура тела, пациент с поддержкой передвигался в пределах палаты. Однако еще через 6 сут состояние его резко ухудшилось, появились жалобы на чувство нехватки воздуха, одышку (частота дыханий 30 в 1 мин). Тахикардия – 120 уд./мин. Больной переведен в ОРИТ. Данные, говорящие об остром коронарном синдроме отсутствовали (без характерных жалоб; ЭКГ без динамики и в норме; тропонин I – 0,004 нг/мл). Для исключения тромбоэмболии легочной артерии выполнена мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) грудной клетки, при которой выявлены признаки газовой эмболии воротной вены и газ в проекции восходящего отдела аорты. В ходе исследования буквально «на глазах» у пациента развилась слабость в правой руке и ноге, с ним был потерян речевой контакт, вскоре появились анисокория, нарушение сознания до комы (по шкале комы Глазго – 4 балла). Выполнена МСКТ головного мозга: убедительных КТ-данных о наличии острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) не получено, имелась КТ-картина последствий перенесенного ранее нарушения мозгового кровообращения, заместительной гидроцефалии по смешанному типу. Несмотря на проводимое симптоматическое лечение, через 2 ч 30 мин от начала ухудшения состояния произошла

*остановка кровообращения. Реанимационные мероприятия оказались неэффективными...». Патологоанатомическое исследование выявило газовую эмболию различных сосудов и инфаркт головного мозга. Механизм попадания газа из системы воротной вены в аорту и сосуды головного мозга остается предметом обсуждения. Сколько подобных и других осложнений, связанных с газовой эмболией, происходит в стенах наших больниц, все ли они документированы и все ли пациенты с данной патологией получают адекватную терапию?*

Авторы данного обзора, в соответствии с продекларированной ранее целью, намеренно опустили рассуждения о газовых эмболиях, произошедших в результате специфических водолазных заболеваний – декомпрессионной болезни и баротравмы легких. Хотя именно данная область – гипербарическая физиология и водолазная медицина – является средоточием знаний по рассматриваемой тематике [32]. Неслучайно обзор публикуется в «Морском медицинском журнале». Опускаем мы и иностранные рассуждения о классификации газовых эмболий, об особенностях распространения эволюции и деградации пузырьков, механизмах перехода артериальной эмболии в венозную и наоборот, изменениях в составе альвеолярного газа, имеющих значение для диагностики воздушных эмболий, сведения об антеградной, ретроградной и парадоксальной воздушной эмболии и других специальных фундаментальных и практических вопросах, касающихся этой области знаний и широко освещенных в литературе [33–38]. Оставим для последующих публикаций освещение разработанного нами, а также ранее существовавших способах моделирования артериальной газовой эмболии в эксперименте – от экспериментальных подводных и наземных взрывов [39, 40] до внутрисосудистого введения воздуха различными способами [41, 42]. Не нагружаем читателя детальным разбором методов посмертной диагностики газовых эмболий, подробно описанных в руководстве «Воздушная эмболия в судебной и прозекторской практике», изданной в 1963 г.! [43]. И лишь вскользь коснемся методов диагностики и лечения газовой эмболии, которые предложены в учебных пособиях и на страницах современных периодических изданий.

В диагностике газовых эмболий значительная роль отводится ультразвуковым методам исследова-

дования и анализу выдыхаемого газа. При изменении состава выдыхаемого газа (во время хирургической операции) можно обнаружить уменьшение количества выдыхаемого диоксида углерода. Контроль содержания  $\text{CO}_2$  в конце выдоха является эффективным и практическим методом интраоперационной диагностики воздушной эмболии [44]. (Последнее наиболее справедливо лишь для тех случаев, когда воздушная эмболия произошла во время данного вмешательства.) Ультразвуковая доплерографическая техника открыла новую эру быстрого и чувствительного мониторинга воздушной эмболии при объемах воздуха столь малых, как 0,1 мл. Пионерами применения этой диагностики были M. S. Albin и соавт. [45]. Достоверность результатов доплерографического мониторинга напрямую зависит от корректного положения сенсора, который обычно размещают в III–VI межреберных промежутках справа от грудины. Следует помнить, что доплерографическая детекция воздушных эмболов является только качественной и не дает информации о количестве поступившего воздуха. Используя компьютеризированную технологию распознавания сигнала, G. L. Gibby [46] разработал автоматическую систему, которая давала звуковой сигнал именно при наличии пузырьков воздуха, что повышало внимание анестезиолога к этому событию. Предлагается при диагностике воздушной эмболии использовать данные ЭКГ [47], центральное венозное давление и рентгенограмму грудной клетки [48].

Для лечения церебральной воздушной эмболии Textbook of hyperbaric physiology [49] предлагает прекратить поступление воздуха в сосудистое русло, использовать высокопоточную кислородотерапию, применить сердечно-легочную реанимацию, аспирацию воздуха из правых отделов сердца, наладить мероприятия по поддержанию гемодинамики и применить гипербарическую оксигенацию. Эти методы в различных сочетаниях предлагаются в большинстве доступной нам литературы, касающейся данного вопроса [50–58]. К вопросу о лечении воздушной эмболии необходимо, конечно, добавить категорический запрет у пациента с подозрением на газовую эмболию проведения искусственной вентиляции легких [ИВЛ] с закисным компонентом и ведение периоперационного периода исключительно на 100 %  $\text{O}_2$  [8], запрет на транспортировку пострадавшего воздушным транс-

портом [32] и упомянуть комплекс мероприятий, связанный с лечебной рекомпрессией, требующий наличие барокомплекса, являющийся до настоящего времени действительно прерогативой водолазной медицины и регламентированный соответствующими Методическими указаниями ФМБА России [54].

**Обсуждение.** Как следует из вышесказанного, проблема постановки диагноза газовой эмболии связана с отсутствием надежных, простых и однозначных симптомов, указывающих на данное осложнение, а аппаратные методики диагностики, мало того, что являются качественными, неточными, так еще и требуют наличия сложной дорогостоящей (даже специальной) аппаратуры, которая должна применяться в соответствующих условиях. Так же и лечение. Надежными методами являются лечебная рекомпрессия или гипербарическая оксигенация. Возможность быстрого применения этих методов в адекватные сроки есть у абсолютного меньшинства нуждающихся!

**Заключение.** Авторы предлагают одним из явным движением решить сразу обе проблемы диагностики и лечения газовых эмболий: травма взрывной волной – подогретый «Геофарм-3», малейшее подозрение на возможность газовой эмболии – подогретый «Геофарм-3», опасность газовой эмболии – подогретый «Геофарм-3», контузия с разрывом барабанной перепонки – подогретый «Геофарм-3»! В каждой больнице, где есть реанимация и хирургия, должен быть доступ к простому и безопасному дыханию подогретым «Геофармом-3», а операции при минно-взрывной травме нужно проводить в условиях искусственной вентиляции легких подогретой смесью «Геофарма-3», аппаратуру для которой еще предстоит разработать.

*Внимание! Есть нюансы.* Основные из них касаются мероприятий по профилактике и лечению острого реперфузионного повреждения после реканализации эмболизированных сосудов в отсроченном периоде [7].

Авторы настоящего обзора выражают надежду, что представленная сегодня на страницах «Морского медицинского журнала» информация понудит практических врачей задуматься: «а не газ ли в крови является причиной упорной полиорганной недостаточности у моих больных с взрывной политравмой», поможет без страха учитывать, вербализовать и документировать этот компонент патогенеза и активно ис-

каты способы лечебного воздействия на него, а ученых – медиков и морфологов – подвигнет к постановке научно-практической работы по данной тематике, поскольку из учета вышеизложенного авторов терзают обоснованные подозрения, что масштаб проблемы намного больше, чем кажется.

В заключение приведем еще одну прямую цитату, на сей раз из проблемной статьи знаменитого нейрохирургического анестезиолога А. Ю. Лубнина, который с внутренним негодованием отмечает замалчивание и недооценку сложно-

сти и опасности обсуждаемой проблематики. В частности, он пишет, что чаще отмечается игнорирование проблемы, потому что «серьезных осложнений немного и от них редко погибают». И затем Андрей Юрьевич предостерегает свою читательскую аудиторию, состоящую из профессионалов в области хирургии и анестезиологии, такими словами: «А я вот хорошо помню всех наших больных, погибших от воздушной эмболии и ее вторичных осложнений...» [55].

Проблема существует, коллеги. Давайте решать!

#### Сведения об авторах:

*Логунов Алексей Тимофеевич* – Генеральный директор – главный конструктор ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН»; 141400, Московская область, г. Химки, Вашутинское шоссе, д. 1, корп. 1; e-mail: skb-imbp@bk.ru

*Мосягин Игорь Геннадьевич* – доктор медицинских наук, профессор, начальник медицинской службы, Главное командование Военно-Морского Флота РФ; 191055, Санкт-Петербург, Адмиралтейский проезд, д. 1; ORCID: 0000-0002-9485-6584; e-mail: mosyagin-igor@mail.ru

*Павлов Николай Борисович* – кандидат медицинских наук, врач-анестезиолог-реаниматолог, старший научный сотрудник, ГНЦ РФ – ИМБП РАН; 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76, А; ORCID: 0000-0002-0540-1095; e-mail: bobvodolaz@yandex.ru

*Строй Алексей Владимирович* – Инспектор, Главное командование Военно-Морского Флота РФ; 191055, Санкт-Петербург, Адмиралтейский проезд, д. 1

*Амиров Рустам Рафаэльевич* – научный сотрудник, ГНЦ РФ – ИМБП РАН; 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76, А; e-mail: osvov7@bk.ru

*Мурашёв Аркадий Николаевич* – доктор биологических наук, профессор, руководитель Центра биологических испытаний, Институт биоорганической химии им. академиков М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова; 142290, Московская область, г. Пущино, пр. Науки, д. 6; e-mail: murashev@bibch.ru

*Паликов Виктор Анатольевич* – старший научный сотрудник Центра биологических испытаний, Институт биоорганической химии им. академиков М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова; 142290, Московская область, г. Пущино, пр. Науки, д. 6; e-mail: vpalikov@bibch.ru

*Кузнецова Татьяна Евгеньевна* – кандидат медицинских наук, профессор кафедры физиологии, Институт физиологии РНИМУ им. Н. И. Пирогова; 117513, Москва, ул. Островитянова, д. 1; e-mail: kuztek@rambler.ru

*Баранов Виктор Михайлович* – доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии наук, главный научный сотрудник, руководитель научного направления, Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук; 123007, Москва, Хорошевское шоссе, 76, А; e-mail: Baranov-vm@mail.ru

#### Information about the authors:

*Alexey T. Logunov* – General Director – Chief Designer of ZAO Central Design Engineering Bureau of Experimental Equipment Institute of Medico-Biological Problems of Russian Academy of Sciences; 141400, Moscow region, Khimki, Vashutinskoe highway, 1, building 1; e-mail: skb-imbp@bk.ru

*Igor G. Mosyagin* – Dr of Sci. (Med.), Professor, Head of the Medical Service of the High Command of the Navy; 191055, Saint Petersburg, Admiralteysky proezd, 1; ORCID: 0000-0003-2414-1644; e-mail: mosyagin-igor@mail.ru

*Nikolay B. Pavlov* – Cand. of Sci. (Med.), Anesthesiologist-resuscitator, Senior Researcher at the Institute Of Medico-Biological Problems of Russian Academy of Sciences; 123007, Moscow, Khoroshevskoe highway, 76, A; ORCID: 0000-0002-0540-1095; e-mail: bobvodolaz@yandex.ru

*Alexey V. Stroy* – Inspector, High Command of the Navy; 191055, St. Petersburg, Admiralteysky proezd, 1

*Rustam R. Amirov* – Researcher at the Institute of Medico-Biological Problems of Russian Academy of Sciences; 123007, Moscow, Khoroshevskoe highway, 76, A; e-mail: osvov7@bk.ru

*Arkady N. Murashev* – Dr of Sci. (Biol.), Professor, Head of the Center for Biological Testing of the The Branch of the M. M. Shemyakin and Yu. A. Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences; 142290, Moscow region, Pushchino, prospekt Nauki, 6; e-mail: murashev@bibch.ru

*Viktor A. Palikov* – Senior Researcher of the Center for Biological Testing of the The Branch of the M. M. Shemyakin and Yu. A. Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, 142290, Moscow region, Pushchino, prospekt Nauki, 6; e-mail: vpalikov@bibch.ru

*Tatyana A. Kuznetsova* – Professor of the Department of Physiology of the Pirogov Russian National Research Medical University; 117513, Moscow, Ostrovityanova str. 1; e-mail: takuz@mail.ru



Viktor M. Baranov – Dr of Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Head of the scientific direction. Institute of Medico-Biological Problems of Russian Academy of Sciences; 123007, Moscow, Khoroshevskoe highway, 76A, e-mail:Baranov-vm@mail.ru

**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).

**Вклад в концепцию и план исследования** – А. Т. Логунов, И. Г. Мосягин, А. В. Строй, Н. Б. Павлов, Р. Р. Амиров, В. А. Паликов, Т. Е. Кузнецова, А. Н. Мурашёв, В.М. Баранов. Вклад в сбор данных – А.Т. Логунов, И.Г. Мосягин, А.В. Строй, Н.Б. Павлов, Р.Р. Амиров, В.А. Паликов, Т.Е. Кузнецова, А.Н. Мурашёв, В.М. Баранов. Вклад в анализ данных и выводы – А.Т. Логунов, И.Г. Мосягин, А.В. Строй, Н.Б. Павлов, Р.Р. Амиров, В.А. Паликов, Т.Е. Кузнецова, А.Н. Мурашёв, В.М. Баранов. Вклад в подготовку рукописи – А.Т. Логунов, И.Г. Мосягин, А.В. Строй, Н.Б. Павлов, Р.Р. Амиров, В.А. Паликов, Т.Е. Кузнецова, А.Н. Мурашёв, В.М. Баранов.

**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.

**Special contribution:** LAT, MIG, SAV, PNB, ARR, PVA, KTE, MAN, BVM contribution to the concept and plan of the study. LAT, MIG, SAV, PNB, ARR, PVA, KTE, MAN, BVM contribution to data analysis and conclusions. LAT, MIG, SAV, PNB, ARR, PVA, KTE, MAN, BVM contribution to the preparation of the manuscript.

**Потенциальный конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Финансирование:** исследование проведено без дополнительного финансирования.

**Funding:** the study was carried out without additional funding.

Поступила/Received: 22.04.2024

Принята к печати/Accepted: 15.05.2024

Опубликована/Published: 30.06.2024

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Логунов А. Т., Мосягин И. Г., Павлов Н. Б. Подогретые кислородно-гелиевые смеси, история применения в медицине // *Морская медицина*. 2022. Т. 8, № 1. С. 20–37 [Logunov A. T., Mosyagin I. G., Pavlov N. B. Heated oxygen-gel mixtures, history of application in medicine. *Marine medicine*, 2022, Vol. 8, No.1, pp. 20–37 (In Russ.)].
2. Найдёнов А. А. *Роль артериальной воздушной эмболии в патогенезе минно-взрывной травмы (экспериментальное исследование)*. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург: Военно-мед. акад.; 1997. С. 12–13 [Naidenov A. A. *The role of arterial air embolism in the pathogenesis of mine explosion injury (experimental study)*. Abstract... Cand. med. Sci. St. Petersburg: Military Med. Acad.; 1997, pp. 12–13 (In Russ.)].
3. Орлова О. С., Павлов Н. Б., Праскурничий Е. А. Применение гипербарической оксигенации в лечении терапевтической патологии // *Клинический вестник ФМБА им. А. И. Бурназяна*. 2022. № 1. С. 40–44 [Orlova O. S., Pavlov N. B., Praskurnichy E. A. The use of hyperbaric oxygenation in the treatment of therapeutic pathology. *Clinical Bulletin of the FMBC im. A. I. Burnazyan*, 2022, No.1, pp. 40–44 (In Russ.)].
4. Праскурничий Е. А., Орлова О. С., Павлов Н. Б., Зенкова С. И. Возможности применения подогретой кислородно-гелиевой смеси у пациентов в период LONG-COVID // *Практическая медицина*. 2022. № 7. С. 140–145 [Praskurnichy E. A., Orlova O. S., Pavlov N. B., Zenkova S. I. Possibilities of using a heated oxygen-helium mixture in patients during the LONG-COVID period. *Practical Medicine*, 2022, No.7, pp. 140–145 (In Russ.)].
5. Праскурничий Е. А., Агапов К. В., Павлов Н. Б., Орлова О. С., Кузнецова Т. Е., Громаков В. А., Шутов А. А. Лечение пациентов, перенесших коронавирусную инфекцию Covid-19 на постгоспитальном этапе с применением гипербарической оксигенации // *Вестник современной клинической медицины*. 2022. Т. 15, № 3. С. 54–59 [Praskurnichy E. A., Agapov K. V., Pavlov N. B., Orlova O. S., Kuznetsova T. E., Gromakov V. A., Shutov A. A. Treatment of patients who suffered from Covid-19 coronavirus infection at the posthospital stage using hyperbaric oxygenation. *Bulletin of modern clinical medicine*, 2022, Vol. 15, No. 3, pp. 54–59 (In Russ.)].
6. Мануйлов В. М., Суворов А. В., Куркин С. В., Оленев Ю. О., Павлов Н. Б., Логунов А. Т., Анিকেев Д. А., Орлов О. И. Оценка эффективности кислородно-гелиевой терапии у больных с Covid 19 ассоциированной пневмонией // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2021. Т. 55, № 1. С. 51–58 [Manuilov V. M., Suvorov A. V., Kurkin S. V., Olenev Yu. O., Pavlov N. B., Logunov A. T., Anikeev D. A., Orlov O. I. Evaluation of the effectiveness of oxygen-helium therapy in patients with Covid-19 associated pneumonia. *Aerospace and environmental medicine*, 2021, Vol. 55, No.1, pp. 51–58 (In Russ.)].
7. Логунов А. Т., Амиров Р. Р., Павлов Н. Б., Соколов Г. М. Временные методические рекомендации по лечению газовой эмболии методами баротерапии, утвержденные начальником ГВМУ МО РФ 10 июля 2023 г. 18 с. [Logunov A. T., Amirov R. R., Pavlov N. B., Sokolov G. M. Temporary guidelines for the treatment of gas embolism by barotherapy methods. Approved the head of the GVMU of the Ministry of Defense of the Russian Federation on July 10, 2023, 18 c. (In Russ.)].
8. Сорока В. В. *Взрывная травма. Что делать? (Библиотека врача неотложной помощи)*. Санкт-Петербург. 2015. С. 484. ISBN 978-5-906670-36-6 [Soroka V. V. *Explosive injury. What should I do?* St. Petersburg, 2015, pp. 484 (In Russ.)].
9. Owen-Smith M. S., Explosive Blast Injury. *BMJ Military Health*, 1979, No. 125, pp. 4–16.

10. Hooker D. R. Physiological effects of air concussion. *Am. J. Physiology*, 1943, No. 6, 219J.
11. Zuckerman S. Discussion on the problem of blast injuries. *Proc. R. Soc. Med.*, 1940, No. 34, pp. 171–188.
12. Krohn P. L. Physiological effects of blast. *The Lancet*. 1942, Vol. 239, Issue 6183, pp. 252–259.
13. Clemedson C. J. An experimental study on air blast. *Acta Physiol. Scand*, 1949, No. 18 (Suppl. LXI), pp. 7–200.
14. Freund U., Kopolovic J., Durst A. L. Compressed air emboli of the aorta and renal artery in blast injury. *Injury*, 1980, 12(1), pp. 37–38.
15. Groham D. I., Macpherson P., Pitts L. H. Correlation between angiographic vasospasm, hematoma, and ischemic brain damage following SAH, 1983, 59(2), pp. 223–230. doi: 10.3171/jns.1983.59.2.0223.1983.
16. Прокопович А. Е., Адельсон Л. Н. Морфологические исследования центральной нервной системы при минно-взрывной травме // *Тезисы докладов итоговой научной конференции слушателей 1-го факультета*. СПб.: ВМедА им. С. М. Кирова. 1995. С. 116–117 [Prokopovich A. E., Adelson L. N. Morphological studies of the central nervous system in mine-explosive trauma. *Abstracts of the final scientific conference of students of the 1st faculty*. St. Petersburg: Military Med. Acad, 1995, pp. 116–117 (In Russ.)].
17. Емелин В. В., Хайретдинов Ш. Ф. Редкий случай воздушной (газовой) эмболии сердца при огнестрельном дробовом ранении шеи // *Актуальные вопросы судебной медицины*. Посвящен 85-летию судебно-медицинской службы Московской области. М.: 2007. С. 76–77 [Emelin V. V., Khayretdinov Sh. F. A rare case of air (gas) embolism of the heart in case of a shotgun wound to the neck. *Current issues of forensic medicine. It is dedicated to the 85th anniversary of the forensic medical service of the Moscow region*. Moscow, 2007, pp. 76–77 (In Russ.)].
18. Фомин Н. Ф. Артериальная воздушная эмболия при минно-взрывной травме легких (Обзор иностранной литературы) // *Информационный бюллетень по вопросам воен.-мед. службы иностр. армий и флотов*. СПб.: Воен.-мед. акад. 1995. N. 91. С. 45–54 [Fomin N. F. Arterial air embolism in case of mine - explosive lung injury (Review of foreign literature). *Information bulletin on military issues.-med. foreign services. armies and fleets*. St. Petersburg: Military Medical Academy, 1995, No. 91, pp. 45–54 (In Russ.)].
19. Механогенез травмы легких при моделировании контактных подрывов на противопехотных минах // *Тезисы докладов XL конференции студентов и аспирантов морфологических кафедр и лабораторий Санкт-Петербургских вузов и НИИ*. СПб., 1997. С. 38–40 [Mechanogenesis of lung injury in the simulation of contact explosions on antipersonnel mines. *Abstracts of the XL conference of students and postgraduates of morphological departments and laboratories of St. Petersburg universities and Research Institutes*. St. Petersburg; 1997, pp. 38–40 (In Russ.)].
20. Сорока В. В., Курилов А. Б., Нохрин С. П., Золотухин С. Ю., Боровский И. Э. Механизм воздушной эмболии при взрывной травме // *Скорая медицинская помощь*. 2004. Т. 5, № 3. С. 190–192 [Soroka V. V., Kurilov A. B., Nokhrin S. P., Zolotukhin S. Yu., Borovsky I. E. The mechanism of air embolism in explosive trauma. *Emergency medical care*, 2004, Vol. 5, No. 3, pp. 190–192 (In Russ.)].
21. Mason W. V. H., Damon T. G., Dickinson A. R., Nevison T. O., Jr. Arterial gas emboli after blast injury. *Proceedings of the Society for Experimental Biology & Medicine*, 1971, Vol. 136, No. 4, pp. 1253–1255.
22. Weiler-Ravell D., et al. Blast injury of the chest. A review of the problem and its treatment. *Isr J Med Sci*, 1975, Vol. 11, No. 2-3, pp. 268–274.
23. Prabhakar H., Bithal P. K. Venous air embolism. *Complications in Neuroanesthesia*, 2016, pp: 435-442. ISBN: 978-0-12-804075-1.
24. Voigt P., Bach A. G., Surov A. Coronary air embolism in a trauma patient. *Clinical Research in Cardiology*. 2017, Vol. 106, No. 11, pp. 933–934.
25. Schissler A. J., Rozenshtein A., Schluger N. W., Einstein A. J. National trends in emergency room diagnosis of pulmonary embolism, 2001–2010: a cross-sectional study. *Respiratory Research*, 2015, Vol. 16, No. 1, pp. 1–7.
26. Van Hoesen K., Neuman T. S. Gas embolism: venous and arterial gas embolism. In: *Physiology and Medicine of Hyperbaric Oxygen Therapy*. 2008. pp. 257–281.
27. Tateishi H. Prospective study of air embolism. *British Journal of Anaesthesia*, 1972, Vol. 44, No. 12, pp. 1306.
28. Freund M. C., Petersen J., Goder K. C., Bunse T., Wiedermann F., Glodny B. Systemic air embolism during percutaneous core needle biopsy of the lung: frequency and risk factors. *BMC Pulmonary Medicine*, 2012, Vol. 12, No. 1, pp. 1–12.
29. Souders J. E. Pulmonary air embolism. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 2000, Vol. 16, No. 5–6, pp. 375–383.
30. Mirski M. A., Lele A. V., Fitzsimmons L., Toung T. J. K. Diagnosis and treatment of vascular air embolism. *Anesthesiology*, 2007, Vol. 106, No. 1, pp. 164–177. doi: 10.1097/00000542-200701000-00026.
31. Храпов К. Н., Шлык И. В., Захаренко А. А., Трушин А. А., Васильева М. А. Случай газовой эмболии воротной вены с развитием острого нарушения мозгового кровообращения // *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2017. Т. 14, № 5. С. 91–96 [Khrapov K. N., Shlyk I. V., Zakharenko A. A., Trushin A. A., Vasilyeva M. A. The case of portal vein gas embolism with the development of acute cerebrovascular accident. *Bulletin of Anesthesiology and Intensive Care*, 2017, Vol. 14, No. 5, pp. 91–96 (In Russ.)]. doi: 10.21292/2078-5658-2017-14-5-91-96.
32. Павлов Б. Н., Смолин В. В., Баранов В. М., Соколов Г. М., Куссмауль А. Р., Павлов Н. Б., Шереметова Н. Н., Тугушева М. П., Жданов В. Н., Логунов А. Т., Потапов В. Н. *Основы барофизиологии, водолазной медицины, баротерапии и лечения инертными газами*. М.: Гранд полиграф; 2008. 494 с. [Pavlov B. N., Smolin V. V., Baranov V. M., Sokolov G. M., Kussmaul A. R., Pavlov N. B., Sheremetova N. N., Tugusheva M. P., Zhdanov V. N., Logunov A. T., Potapov V. N. *Fundamentals of barophysiology, diving medicine, barotherapy and treatment inert gases*. Moscow: Grand Polygraph; 2008, 494 p. (In Russ.)].
33. Hagen P. T., Scholz D. G., Edwards W. D. Incidence and size of patent foramen ovale during the first decades of life: An autopsy study of 965 normal hearts. *Mayo Clin Proc*, 1984, Vol. 59, pp. 17–75.

34. Chang J. L., Albin M. S., Bunegin L., et al. Analysis and comparison of venous air embolism detection methods. *Neurosurgery*, 1980, Vol. 7, pp. 135.
35. Шитов А. Ю. *Декомпрессионная болезнь*. Дюссельдорф: LAP Lambert Academic Publishing; 2011, 268 с. [Shitov A. Yu. *Decompression sickness*. Dusseldorf: LAP Lambert Academic Publishing. 2011, P. 268 (In Russ.)].
36. Verstappen F. T., Bernards J. A., Kreuzer F. Origin of arterial hypoxemia during pulmonary gas embolism. *Ibid*, 1977, Vol. 370, No. 1, pp. 71–75. doi: 10.1007/BF00707948.
37. Berglund E., Josephson S. Pulmonary air embolism: Physiologic aspects. *Thorax*, 1969, Vol. 24, P. 509.
38. Black S. Paradoxical air embolism from a patent foramen ovale. *Anesthesiology*, 1979, Vol. 4, pp. 345.
39. Фомин Н. Ф. Артериальная воздушная эмболия при минно-взрывной травме легких. (Обзор иностранной литературы). *Информационный бюллетень по вопросам воен.-мед. службы иностр. армий и флотов*. СПб.: Воен.-мед. акад. 1995, № 91, С. 45–54 [Fomin N. F. Arterial air embolism in case of mine - explosive lung injury (Review of foreign literature). *Information bulletin on military issues.-med. foreign services. armies and fleets*. St. Petersburg: Military Medical Academy, 1995, No. 91, pp. 45–54 (In Russ.)].
40. Рухляда Н. В., Миннулин И. П., Черныш А. В. и др. *Минно-взрывные ранения на мелководье. Общая характеристика поврежденных*. Отчет НИР по теме 1.95.108. п.5 ВАП. СПб. 1996. 80 с. [Rukhlyada N. V., Minnulin I. P., Chernysh A. V., et al. *Mine explosion wounds in shallow water. General characteristics of damage*. Research report on the topic 1.95.108.p5 VAP. St. Petersburg, 1996, 80 p. (In Russ.)].
41. Fries C. C., Levowitz B., Adier S., et al. Experimental cerebral gas embolism. *Annals of surgery*, 1957, Vol. 145. No. 4, pp. 461–470.
42. Gerriets T., Walberer M., Nedelmann M., et al. A rat model for cerebral air microembolisation. *Journal of neuroscience methods*, 2010, Vol. 190, No. 1, pp. 10–13.
43. Монастырская Б. И., Бляхман С. Д. Воздушная эмболия в судебно-медицинской и прозекторской практике. *Труды Таджикского медицинского института им. Абуали Ибн-Сино*. (Душанбе). 1963. Т. 58. 133 с. [Monastyrskaya B. I., Blyakhman S. D. Air embolism in forensic medical and autopsy practice. *Proceedings of the Tajik Medical Institute named after Abuali Ibn-Sino* (Dushanbe), 1963, Vol. 58, pp. 133 (In Russ.)].
44. Brechner V. L., Bethune W. M. Recent advances in monitoring pulmonary air embolism. *Anesth. Analg*, 1971, Vol. 50, pp. 255.
45. Chang J. L., Albin M. S., Bunegin L., et al. Analysis and comparison of venous air embolism detection methods. *Neurosurgery*, 1980, Vol. 7, pp. 135.
46. Gibby G. L. Unattended, real-time monitoring for venous air emboli by a computerized Doppler system. *Anesthesiology*, 1988, Vol. 69, pp. A732.
47. Tateishi H. Prospective study of air embolism. *Br. J. Anaesth*, 1972, Vol. 44, pp. 1306.
48. Chang J. L., Albin M. S., Bunegin L., et al. Analysis and comparison of venous air embolism detection methods. *Neurosurgery*, 1980, Vol. 7, pp. 135.
49. Kewal K., Jain M.D. *Textbook of hyperbaric medicine*. Textbook. Toronto: Hogrefe & Huber Publishers; 2017, 536 p.
50. Blanc P., Boussuges A., Henriette K., Sainty J. M., Deleflie M. Iatrogenic cerebral air embolism: importance of an early hyperbaric oxygenation. *Intensive care medicine*, 2002, Vol. 28, No. 5, pp. 559–563.
51. Gupta R., Vora N., Thomas A., Crammond D., Roth R., Jovin T., Horowitz M. Symptomatic cerebral air embolism during neuro-angiographic procedures: incidence and problem avoidance. *Neurocritical care*, 2007, Vol. 7, No. 3, pp. 241–246.
52. Chaudhuri N., Hickey M. S. J. A simple method of treating coronary air embolism after cardiopulmonary bypass. *The Annals of Thoracic Surgery*, 1999, Vol. 68, No. 5, pp. 1867–1868.
53. Torres L. N., Spiess B. D., Torres Filho I. P. In vivo microvascular mosaics show air embolism reduction after perfluorocarbon emulsion treatment. *Microvascular Research*, 2012, Vol. 84, No. 3, pp. 390–394.
54. Выбор метода лечебной рекомпрессии при декомпрессионной болезни. Методические указания ФМБА России. М.; 2019, pp.11–12 [The choice of the method of therapeutic recompression in decompression sickness Methodological Guidelines of the FMBA of Russia. Moscow; 2019, pp. 11–12 (In Russ.)].
55. Лубнин А. Ю. Комментарий к статье Р. С. Лакотко и соавт. Риск и значимость венозной воздушной эмболии при нейрохирургических операциях в положении сидя у взрослых // *Вестник интенсивной терапии имени А. И. Салтанова*. 2020. № 1. С. 100 [Lubnin A. Yu. Commentary on the article by R. S. Lakotko, et al. The risk and significance of venous air embolism in neurosurgical operations in a sitting position in adults. *Bulletin of intensive care named after A. I. Saltanov*, 2020, No. 1, pp. 100 (In Russ.)]. <https://cyberleninka.ru/article/n/kommentariy-k-statii-r-s-lakotko-i-soavt-risk-i-znachimost-venoznoy-vozdushnoy-embolii-pri-neyrohirurgicheskikh-operatsiyah-v>.
56. Souders J. E. Pulmonary air embolism. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2000, Vol. 16, No. 5–6, pp. 375–383.
57. Stephen I. Hauser, Jeffrey J. Bazarian, Ibolja Cernak, et al. *Gulf War and Health: Volume 9: Long-Term Effects of Blast Exposures*. Washington: National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. 2014, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18253>.
58. Tovar E. A., Del Campo C., Borsari A., Webb R. P., Dell J. R., Weinstein P. B. *Postoperative management of cerebral air embolism: gas physiology for surgeons*. 1995. doi: 10.1016/0003-4975(95)00531-o.