



АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КИСЛОРОДНО-ГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ В КОМПЛЕКСНОЙ ТЕРАПИИ И РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Ю.А. Хатунцева^{1,2}, В.М. Мануйлов^{1,3}, А.Н. Щербюк¹, Я.Э. Немсцверидзе^{3,4},
А.А. Андрущенко⁴, Г.И. Курнакин⁵

¹Пушкинская клиническая больница им. проф. Розанова В.Н., ул. Авиационная, д. 35, г. Пушкино, Московская область, 141206, Россия

²Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Хорошевское шоссе, д. 76А, г. Москва, 123007, Россия

³Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского, ул. Щепкина, д. 61/2, г. Москва, 129110, Россия

⁴Московский медицинский университет «Реавиз», Краснобогатyrская ул., д. 2, стр. 2, Москва, 107564, Россия

⁵Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, ул. Островитянова, д. 1, г. Москва, 117513, Россия

Резюме. *Актуальность.* Острые инфекционные бактериальные и вирусные пневмонии являются одними из наиболее распространенных острых инфекционных заболеваний. В России ежегодно регистрируется более 1,5 млн случаев внебольничных пневмоний, что делает эту патологию одной из ведущих причин смерти от инфекционных заболеваний. Разработка и внедрение инновационных методов реабилитации в период лечения и на постгоспитальном этапе представляет собой актуальную задачу здравоохранения, направленную на снижение трудопотерь, уровня инвалидизации и экономических затрат. *Материалы и методы.* Проведен систематический анализ отечественной и зарубежной литературы за 2000–2024 гг., опубликованной в ведущих рецензируемых научных изданиях и индексируемой в базах данных PubMed, Scopus, Web of Science и РИНЦ. Критериями включения публикаций в обзор являлись: исследования физиологических и патофизиологических аспектов применения кислородно-гелиевых смесей (КГС), клинические исследования эффективности КГС при респираторных заболеваниях, данные об эпидемиологии и контагиозности бактериально-вирусных пневмоний. *Цель исследования.* Систематизация и критический анализ научных данных о физиологических эффектах, механизмах действия и клиническом применении кислородно-гелиевых смесей в комплексной терапии и реабилитации пациентов с заболеваниями органов дыхания, включая бактериально-вирусные пневмонии различной степени тяжести. Разработка концептуальной модели комплексной терапии с использованием разогретой КГС в стационарных и амбулаторно-поликлинических условиях, а также оценка влияния данной методики на гемодинамику, респираторную функцию и психоэмоциональный статус пациентов. *Результаты.* На основании анализа литературных данных выявлены ключевые механизмы терапевтического действия КГС: снижение аэродинамического сопротивления дыхательных путей за счет трансформации турбулентного потока в ламинарный, улучшение вентилиционно-перфузионных отношений, оптимизация транспорта кислорода к тканям и повышение эффективности элиминации углекислого газа. Определены перспективные направления клинического применения КГС при различных патологиях респираторной системы: обструктивных нарушениях верхних и нижних дыхательных путей, остром респираторном дистресс-синдроме, бронхиальной астме, ХОБЛ, пневмониях различной этиологии, включая ассоциированные с COVID-19. Продемонстрировано потенциальное позитивное влияние КГС на психоэмоциональный статус пациентов, что особенно значимо при хронических респираторных заболеваниях. *Выводы.* Кислородно-гелиевые смеси представляют собой перспективный метод комплексной терапии и реабилитации пациентов с заболеваниями органов дыхания. Уникальные физические свойства гелия обеспечивают многофакторное терапевтическое действие, включающее улучшение легочной вентилиации, снижение работы дыхания, оптимизацию газообмена и предотвращение ателектазирования. Безопасность применения, отсутствие токсических эффектов и метаболических изменений делают КГС методом выбора у пациентов с ограниченной чувствительностью к стандартной фармакотерапии. Внедрение методик лечения с использованием КГС имеет высокую социально-экономическую значимость в условиях роста заболеваемости респираторными патологиями.

Ключевые слова: Гелий/терапевтическое использование [D008534]; Ингаляционная терапия кислородом [E02.880.820]; Респираторная терапия [E02.880]; Заболевания дыхательных путей [C08]; Лёгочный газообмен [G09.772.765]; Ингаляция [G09.772.250]; Газовые смеси [D005749]; Лёгочная реабилитация [E02.760.169.063.500].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Немсцверидзе Я.Э. является научным редактором журнала, в принятии решения о публикации работы участия не принимал.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Для цитирования: Хатунцева Ю.А., Мануйлов В.М., Щербюк А.Н., Немсцверидзе Я.Э., Андрущенко А.А., Курнакин Г.И. Анализ вариантов использования кислородно-гелиевой смеси в комплексной терапии и реабилитации пациентов с различными заболеваниями органов дыхания (обзор литературы). *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2025;15(2);14–24. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.2.PHYS.2>

ANALYSIS OF OPTIONS FOR USING OXYGEN-HELIUM MIXTURE IN COMPLEX THERAPY AND REHABILITATION OF PATIENTS WITH VARIOUS DISEASES OF THE RESPIRATORY ORGANS (REVIEW OF LITERATURE)

Yuliya A. Khatuntseva^{1,2}, Vladimir M. Manuylov^{1,3}, Aleksandr N. Shcherbyuk¹, Yakov E. Nemstsveridze^{3,4}, Artem A. Andrushchenko⁴, Grigoriy I. Kurnakin⁵

¹Pushkin Clinical Hospital named after prof. V.N. Rozanov, 35, Aviatzionnaya str., Pushkino, 141206, Russia

²Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Khoroshevskoe shosse, 76A, Moscow, 123007, Russia

³Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirov, 61/2, Shchepkina str., Moscow, 129110, Russia

⁴Moscow Medical University "Reaviz", 2, Krasnobogatyrskaya str., building 2, Moscow, 107564, Russia

⁵Pirogov Russian National Research Medical University, 1, Ostrovityanova St., Moscow, 117513, Russia

Abstract. *Relevance.* Acute infectious bacterial and viral pneumonias are among the most common acute infectious diseases. In Russia, more than 1.5 million cases of community-acquired pneumonia are registered annually, which makes this pathology one of the leading causes of death from infectious diseases. The development and implementation of innovative rehabilitation methods during treatment and at the post-hospital stage is an urgent task of healthcare aimed at reducing labor losses, the level of disability and economic costs. *Materials and methods.* A systematic analysis of domestic and foreign literature for 2000-2024, published in leading peer-reviewed scientific journals and indexed in the PubMed, Scopus, Web of Science and RSCI databases, was conducted. The inclusion criteria for publications in the review were: studies of the physiological and pathophysiological aspects of the use of oxygen-helium mixtures (OHM), clinical studies of the effectiveness of OHM in respiratory diseases, data on the epidemiology and contagiousness of bacterial and viral pneumonia. *Objective of the study.* Systematization and critical analysis of scientific data on the physiological effects, mechanisms of action and clinical use of oxygen-helium mixtures in the complex therapy and rehabilitation of patients with respiratory diseases, including bacterial and viral pneumonia of varying severity. Development of a conceptual model of complex therapy using heated OHM in inpatient and outpatient settings, as well as an assessment of the effect of this technique on hemodynamics, respiratory function and psychoemotional status of patients. *Results.* Based on the analysis of literary data, the key mechanisms of the therapeutic effect of CGS were identified: reduction of airway aerodynamic resistance due to transformation of turbulent flow into laminar flow, improvement of ventilation-perfusion relations, optimization of oxygen transport to tissues and increase in the efficiency of carbon dioxide elimination. Promising areas of clinical application of CGS in various pathologies of the respiratory system were determined: obstructive disorders of the upper and lower respiratory tract, acute respiratory distress syndrome, bronchial asthma, COPD, pneumonia of various etiologies, including those associated with COVID-19. The potential positive effect of CGS on the psychoemotional status of patients was demonstrated, which is especially significant in chronic respiratory diseases. *Conclusions.* Oxygen-helium mixtures are a promising method of complex therapy and rehabilitation of patients with respiratory diseases. The unique physical properties of helium provide a multifactorial therapeutic effect, including improved pulmonary ventilation, reduced work of breathing, optimized gas exchange, and prevention of atelectasis. The safety of use, absence of toxic effects and metabolic changes make CGS the method of choice for patients with limited sensitivity to standard pharmacotherapy. The introduction of treatment methods using CGS has high socio-economic significance in the context of increasing incidence of respiratory pathologies.

Key words: Helium/therapeutic use [D008534]; Oxygen Inhalation Therapy [E02.880.820]; Respiratory Therapy [E02.880]; Respiratory Tract Diseases [C08]; Pulmonary Gas Exchange [G09.772.765]; Inhalation [G09.772.250]; Gas Mixtures [D005749]; Pulmonary Rehabilitation [E02.760.169.063.500]

Competing interests. The authors declare no competing interests. Nemstsveridze Ya.E. is the scientific editor of the journal; he did not participate in the decision to publish the work.

Funding. This research received no external funding.

Cite as: Khatuntseva YU.A., Manuylov V.M., Shcherbyuk A.N., Nemstsveridze YA.E., Andrushchenko A.A., Kurnakin G.I. Analysis of options for using oxygen-helium mixture in complex therapy and rehabilitation of patients with various diseases of the respiratory organs (review of literature). *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ": Rehabilitation, Doctor and Health.* 2025;15(2):14-24. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.2.PHYS.2>

Введение

Заболевания органов дыхания занимают лидирующие позиции в структуре общей заболеваемости и смертности населения во всем мире, представляя собой значимую медико-социальную проблему. Среди них особое место занимают пневмонии – группа острых инфекционно-воспалительных заболеваний, преимущественно бактериальной этиологии, характеризующиеся локальным поражением респираторных отделов лёгких с внутриальвеолярной экссудацией [1]. Классификация пневмоний традиционно включает внебольничные и нозокомиальные (внутрибольничные) формы, каждая из которых имеет свои этиологические, патогенетические и клинические особенности.

В последние годы наблюдается устойчивая тенденция к росту заболеваемости внебольничными пневмониями. Согласно официальным статистическим данным, в 2023 году показатель заболеваемости внебольничными пневмониями в Российской Федерации увеличился на 22% по сравнению с предыдущим годом и достиг 598,02 случаев на 100 тысяч населения. При этом заболеваемость бактериальной пневмонией составила 77,43 случая на 100 тысяч населения [2]. Динамика заболеваемости внебольничными пневмониями в Российской Федерации за 2019–2023 гг. представлена на рисунке 1.

Рост заболеваемости пневмониями обусловлен комплексом факторов, включая изменение популяционного иммунитета, увеличение резистентности возбудителей к антибактериальным препаратам, социально-экономические условия и демографические тенденции. Особую проблему представляет резистентность микроорганизмов, в частности *Streptococcus pneumoniae*, к антибиотикам макролидного ряда, что затрудняет эффективную терапию и увеличивает риск осложнений.

Этиологическая структура возбудителей внебольничной пневмонии (рис. 2) демонстрирует преобладание бактериальной флоры, однако значительную долю составляют вирусные и смешанные вирусно-бактериальные инфекции. Среди бактериальных возбудителей наиболее часто выделяются стрептококки, стафилококки, гемофильная палочка и клебсиелла. Спектр вирусных агентов включает вирусы гриппа, коронавирусы и другие респираторные вирусы [3].

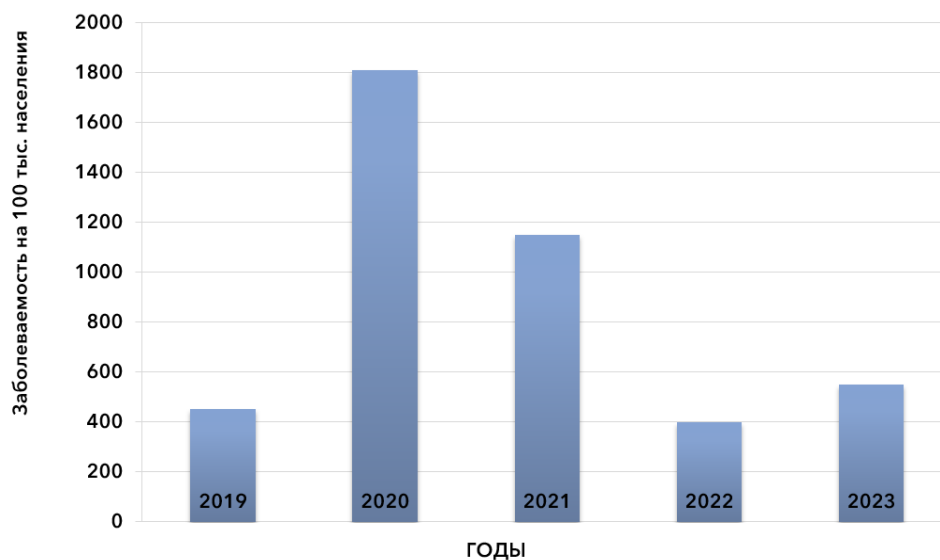


Рисунок 1. Динамика заболеваемости внебольничными пневмониями в Российской Федерации в 2019-2023 гг. (на 100 тыс. населения)
Figure 1. Dynamics of community-acquired pneumonia incidence in the Russian Federation in 2019-2023 (per 100 thousand population)

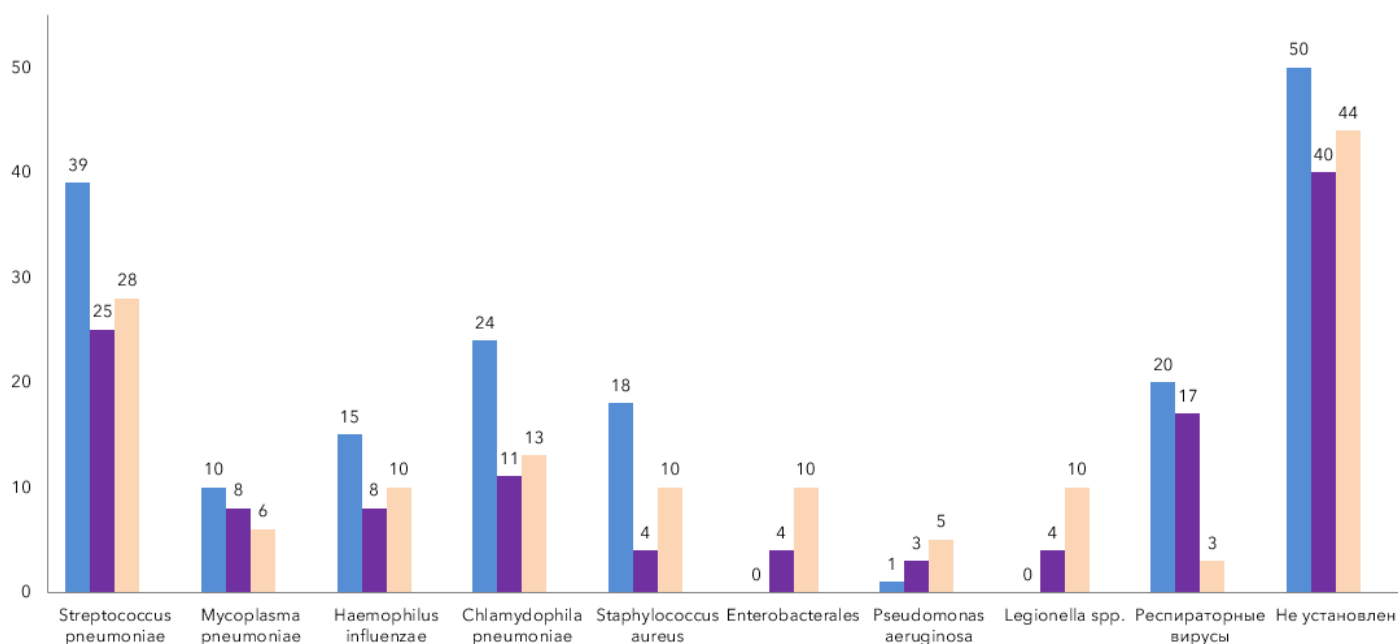


Рисунок 2. Этиологическая структура возбудителей внебольничной пневмонии в Российской Федерации (2018 г.)
Figure 2. Etiological structure of pathogens causing community-acquired pneumonia in the Russian Federation (2018)

В контексте растущей заболеваемости пневмониями и увеличения резистентности возбудителей к антибактериальным препаратам актуализируется потребность в разработке и внедрении новых методов терапии и реабилитации. Особый интерес представляют подходы, направленные на оптимизацию респираторной функции, улучшение газообмена и предотвращение осложнений без увеличения медикаментозной нагрузки.

Одним из перспективных методов является применение кислородно-гелиевых смесей (КГС). Гелий, будучи инертным газом с уникальными физическими свойствами, обладает существенным потенциалом для оптимизации транспорта кислорода к тканям организма и улучшения лёгочной вентиляции. В отличие от фармакологических методов, имеющих определённые противопоказания и ограничения по эффективности, КГС характеризуются высоким профилем безопасности и широким спектром применения [4, 5].

Данный обзор направлен на систематизацию научных данных о физиологических эффектах, механизмах действия и клиническом применении КГС в комплексной терапии и реабилитации пациентов с заболеваниями органов дыхания, с особым фокусом на бактериально-вирусные пневмонии различной степени тяжести.

1. Физико-химические свойства и физиологические эффекты кислородно-гелиевых смесей

1.1. Физические характеристики гелия

Гелий (He) – химический элемент с атомным номером 2, представляющий собой инертный газ без цвета, запаха и вкуса. Уникальные физические свойства гелия определяют его терапевтический потенциал в медицинской практике. Ключевыми характеристиками гелия, имеющими клиническое значение, являются:

1. **Плотность.** При нормальных условиях плотность гелия составляет $0,178 \text{ кг/м}^3$, что приблизительно в 7 раз ниже плотности азота ($1,251 \text{ кг/м}^3$) и в 8 раз ниже плотности кислорода ($1,429 \text{ кг/м}^3$). Эта особенность обеспечивает значительно меньшую плотность кислородно-гелиевых смесей по сравнению с воздухом или чистым кислородом [6, 7].

2. **Вязкость.** Вязкость гелия ($194 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$) несколько выше вязкости кислорода ($204 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$) и азота ($175 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$), однако этот эффект менее выражен, чем различие в плотности.

3. **Теплопроводность.** Гелий отличается высокой теплопроводностью ($0,151 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), превышающей теплопроводность азота и кислорода примерно в 6 раз, что имеет значение при использовании подогретых кислородно-гелиевых смесей.

4. **Диффузионная способность.** Коэффициент диффузии гелия почти в 3 раза выше, чем у кисло-

рода, что обеспечивает более эффективное проникновение газа в плохо вентилируемые участки лёгких.

5. **Растворимость в крови.** Гелий характеризуется низкой растворимостью в биологических жидкостях, почти в 4 раза меньшей, чем у кислорода, что обуславливает его медленное поглощение лёгочным кровотоком и антиателектатическое действие [8, 9].

Физические свойства кислородно-гелиевых смесей зависят от соотношения компонентов. Стандартные терапевтические смеси содержат 70–80% гелия и 20–30% кислорода, что обеспечивает оптимальное сочетание низкой плотности и адекватного содержания кислорода для поддержания оксигенации [10, 11].

1.2. Влияние КГС на механику дыхания

Центральным механизмом терапевтического действия КГС является их влияние на характер воздушного потока в дыхательных путях. Согласно законам аэродинамики, движение газа в трубчатых структурах может осуществляться в двух основных режимах: ламинарном и турбулентном.

Ламинарный поток характеризуется упорядоченным движением молекул газа параллельно стенкам трубки и друг другу, с формированием концентрических слоёв, движущихся с различной скоростью (максимальной в центре и минимальной у стенок). Данный режим обеспечивает минимальные энергетические затраты на транспортировку газа и наблюдается преимущественно в дистальных отделах бронхиального дерева [6, 8].

Турбулентный поток отличается хаотичным движением молекул с непрерывным изменением скорости в каждой точке потока, формированием вихревых структур и повышенным сопротивлением. Этот режим типичен для проксимальных отделов дыхательных путей и усиливается при обструктивных состояниях.

Переход от ламинарного к турбулентному режиму определяется числом Рейнольдса (Re), которое рассчитывается по формуле:

$$Re = \rho v d / \eta,$$

где ρ – плотность газа, v – скорость потока, d – диаметр трубки, η – вязкость газа.

При патологических состояниях, связанных с сужением просвета дыхательных путей (бронхоспазм, отёк, обструкция), происходит нарушение ламинарности потока и переход к турбулентному режиму, что существенно увеличивает работу дыхания. Благодаря низкой плотности, КГС снижает число Рейнольдса и способствует поддержанию ламинарного режима течения даже при повышенных скоростях потока или суженном просвете дыхательных путей [7, 11].

Согласно закону Грэма (Graham's law), скорость диффузии газов обратно пропорциональна квадратному корню из их плотности. Следовательно, КГС характеризуется значительно более высокой скоростью диффузии через суженные дыхательные пути по сравнению с воздухом или чистым кислородом, что особенно важно при обструктивных нарушениях [8, 11].

Принцип Бернулли, являющийся фундаментальным законом аэродинамики, также имеет значение при анализе эффектов КГС. Согласно этому принципу, увеличение скорости потока прямо пропорционально уменьшению давления, что способствует более равномерному распределению газовой смеси в дыхательных путях при использовании КГС [6, 11].

1.3. Физиологические эффекты КГС

Физиологические эффекты кислородно-гелиевых смесей обусловлены их влиянием на различные аспекты респираторной функции:

1. *Снижение работы дыхания.* Уменьшение плотности дыхательной смеси снижает аэродинамическое сопротивление, особенно в условиях обструкции дыхательных путей, что приводит к снижению необходимого транспульмонального давления и уменьшению нагрузки на дыхательную мускулатуру. Данный эффект особенно выражен при обструктивных нарушениях, когда работа дыхания может возрастать в 3–10 раз от нормы [6, 8, 10].

2. *Улучшение альвеолярной вентиляции.* Благодаря ламинарному характеру потока и высокой диффузионной способности, КГС обеспечивает более эффективное проникновение газовой смеси в дистальные отделы бронхиального дерева и альвеолярные пространства, улучшая вентиляционно-перфузионные отношения. Это способствует снижению физиологического мертвого пространства и повышению эффективности вентиляции [11, 12, 13].

3. *Оптимизация газообмена.* КГС улучшает оксигенацию крови и повышает эффективность элиминации углекислого газа благодаря оптимизации вентиляции и повышенной диффузионной способности. Коэффициент диффузии CO_2 в гелии выше, чем в азоте или кислороде, что имеет особое значение при гиперкапнии [7, 14].

4. *Антиателектатический эффект.* Низкая растворимость гелия в крови замедляет его поглощение лёгочным кровотоком, что предотвращает спадение альвеол и образование ателектазов, особенно в зонах с нарушенной вентиляцией [9, 13].

5. *Улучшение доставки лекарственных аэрозолей.* КГС оптимизирует доставку аэрозольных лекарственных средств в дистальные отделы дыхательных путей, повышая их биодоступность и терапевтическую эффективность, что особенно важно при бронхиальной астме и ХОБЛ [15, 16, 17].

6. *Термические эффекты.* Высокая теплопроводность гелия обеспечивает эффективный теплообмен при использовании подогретых КГС ($t = 40\text{--}45^\circ\text{C}$), что усиливает муколитический эффект, улучшает мукоцилиарный клиренс и способствует противовоспалительному действию [5, 18, 19].

7. *Кардиогемодинамические эффекты.* Улучшение оксигенации и уменьшение работы дыхания при применении КГС снижает нагрузку на сердечно-сосудистую систему, улучшает коронарный кровоток и миокардиальную перфузию, что особенно важно у пациентов с сочетанной кардиореспираторной патологией [3, 9, 20].

Важно отметить, что гелий, будучи инертным газом, не метаболизируется в организме, не оказывает бронходилатационного или наркотического эффекта, не обладает токсическими и канцерогенными свойствами, что обеспечивает высокий профиль безопасности КГС даже при длительном применении [5, 21].

2. Клиническое применение КГС при респираторных заболеваниях

2.1. Исторические аспекты и современное состояние проблемы

История медицинского применения гелия начинается с 1934 года, когда Barach впервые предложил использовать кислородно-гелиевую смесь для лечения обструкции верхних дыхательных путей. Первоначально терапевтическое использование КГС нашло применение в педиатрической практике для коррекции обструктивных нарушений респираторного тракта, включая ларингоспазм, обструкцию верхних дыхательных путей [15], острый респираторный дистресс-синдром [12] и бронхиальную астму [13].

В популяции взрослых пациентов КГС успешно применялись при обструктивных нарушениях верхних отделов дыхательных путей различной этиологии, в качестве вспомогательного метода у пациентов с онкологическими заболеваниями дыхательных путей, осложненными развитием дыхательной недостаточности [16], для потенцирования доставки медикаментозных средств при бронхиальной астме [12], с целью повышения толерантности к физическим нагрузкам у пациентов с хронической обструктивной болезнью лёгких (ХОБЛ) [14], для минимизации риска повторной интубации у пациентов после хирургических вмешательств [9] и облегчения проведения протективной искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ) [22].

В последние годы интерес к применению КГС существенно возрос в связи с пандемией COVID-19 и поиском эффективных методов респираторной поддержки для пациентов с коронавирусной инфекцией. Накопленные данные свидетельствуют о потенциальной эффективности КГС в терапии COVID-ассоциированных пневмоний различной степени тяжести [20, 23, 24].

2.2. Применение КГС при различных респираторных патологиях

2.2.1. Обструктивные заболевания верхних дыхательных путей

Обструкция верхних дыхательных путей различной этиологии (постинтубационный стридор, ларингоспазм, инородные тела, отек гортани, трахеостеноз, объемные образования) является классическим показанием для применения КГС. Механизм действия связан преимущественно со снижением сопротивления на уровне крупных дыхательных путей, где поток имеет турбулентный характер и сопротивление определяется плотностью газа.

Клинические исследования демонстрируют эффективность КГС в снижении работы дыхания, уменьшении выраженности стридора, предотвращении прогрессирования дыхательной недостаточности и снижении потребности в интубации трахеи [15, 16, 25].

2.2.2. Бронхиальная астма

При бронхиальной астме применение КГС направлено на уменьшение работы дыхания, улучшение альвеолярной вентиляции и оптимизацию доставки бронходилататоров. Результаты клинических исследований свидетельствуют о положительной динамике показателей функции внешнего дыхания, снижении выраженности одышки и улучшении газообмена при ингаляции КГС у пациентов с обострением бронхиальной астмы [12, 13, 26].

Особенно эффективно применение КГС в комбинации с небулайзерной терапией бронходилататорами, что обеспечивает потенцирование бронхолитического эффекта за счёт улучшения доставки лекарственных средств в дистальные отделы бронхиального дерева [27, 28].

2.2.3. Хроническая обструктивная болезнь лёгких ХОБЛ представляет собой хроническое воспалительное заболевание дыхательных путей с прогрессирующей бронхиальной обструкцией и эмфиземой лёгких. Применение КГС у пациентов с ХОБЛ способствует улучшению переносимости физических нагрузок, снижению дыхательного дискомфорта и оптимизации работы дыхательной мускулатуры [14, 17, 27, 29].

Исследования демонстрируют положительное влияние КГС на показатели кардиореспираторной функции, качество жизни и психоэмоциональный статус пациентов с ХОБЛ. У пациентов с тяжёлой формой ХОБЛ применение подогретой КГС в комплексной терапии способствует снижению частоты обострений и госпитализаций [17, 19, 26].

2.2.4. Пневмонии и острый респираторный дистресс-синдром

Использование КГС при пневмониях и остром респираторном дистресс-синдроме направлено на улучшение вентиляционно-перфузионных отношений, предотвращение ателектазирования и оптимизацию газообмена. Клинические исследования демонстрируют улучшение оксигенации, снижение работы дыхания и потенциальное уменьшение потребности в инвазивной вентиляции лёгких при применении КГС [12, 20, 23].

Особое значение имеет применение КГС на ранних стадиях развития дыхательной недостаточности, что позволяет предотвратить прогрессирование патологического процесса и снизить риск интубации трахеи. У пациентов с подтверждённой пневмонией применение КГС способствует более быстрому разрешению инфильтративных изменений и нормализации показателей газового состава крови [20, 24].

2.2.5. COVID-19

Пандемия COVID-19 стимулировала исследования новых методов респираторной поддержки, включая применение КГС. Предварительные данные свидетельствуют о потенциальной эффективности КГС в терапии COVID-ассоциированных пневмоний различной степени тяжести.

Применение КГС при COVID-19 направлено на улучшение оксигенации, снижение работы дыхания, предотвращение прогрессирования дыхательной недостаточности и оптимизацию доставки лекарственных препаратов. Клинические наблюдения демонстрируют ускорение выздоровления и снижение риска тяжёлых осложнений, особенно у пациентов с сопутствующими хроническими заболеваниями [20, 23, 24].

2.3. Режимы применения КГС

Эффективность терапии КГС определяется правильным выбором состава смеси, температурного режима, продолжительности и кратности ингаляций. Оптимальные параметры терапии определяются индивидуально, с учётом характера и тяжести патологического процесса, функционального состояния пациента и сопутствующей патологии [3, 19, 29].

2.3.1. Состав и параметры смеси

Стандартные терапевтические КГС содержат 70-80% гелия и 20-30% кислорода (Гелиокс 80/20, Гелиокс 70/30). При выраженной гипоксемии содержание кислорода может быть увеличено до 40% (Гелиокс 60/40), однако следует учитывать, что повышение концентрации кислорода снижает терапевтическую эффективность смеси за счёт увеличения её плотности. Выбор оптимального соотношения компонентов определяется степенью дыхательной недостаточности, выраженностью гипоксемии и характером патологического процесса [28, 29].

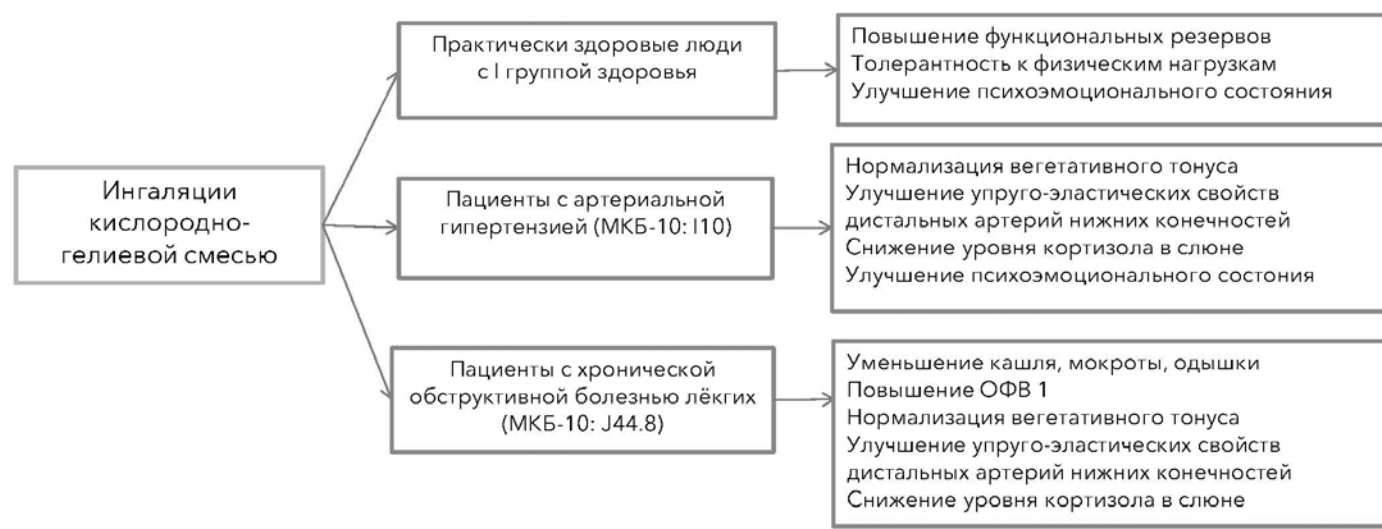


Рисунок 3. Механизм действия кислородно-гелиевой смеси в зависимости от вида патологии
Figure 3. Mechanism of action of oxygen-helium mixture depending on the type of pathology

2.3.2. Температурный режим

Применение подогретых КГС (37–45 °С) усиливает их терапевтический эффект за счёт потенцирования бронхолитического действия, улучшения мукоцилиарного клиренса и противовоспалительного эффекта. Термическое воздействие способствует расширению бронхов, уменьшению вязкости бронхиального секрета и снижению бронхиального сопротивления. Оптимальная температура смеси составляет 40–43 °С для взрослых и 38–40 °С для детей [18, 19, 27].

2.3.3. Продолжительность и кратность ингаляций

Стандартный режим включает ингаляции продолжительностью 15–30 минут 1–3 раза в сутки. При остром респираторном дистресс-синдроме и тяжёлой дыхательной недостаточности возможно более длительное применение (до 60–90 минут) или непрерывная терапия в течение нескольких часов. Курс лечения обычно составляет 7–14 дней, при необходимости может быть продлен до 21 дня [17, 29, 30].

2.3.4. Способы доставки

КГС могут применяться через различные средства доставки:

1. Лицевая маска – наиболее распространённый метод, обеспечивающий эффективную доставку смеси при спонтанном дыхании.

2. Носовые канюли – используются при низкопоточной терапии, обеспечивают больший комфорт для пациента.

3. Небулайзер – позволяет комбинировать ингаляцию КГС с лекарственными препаратами, потенцируя их действие.

4. Неинвазивная вентиляция (СРАР, BiPAP) – КГС используется в качестве газовой смеси при проведении неинвазивной вентиляции лёгких.

5. Контур аппарата ИВЛ – при инвазивной вентиляции лёгких [29, 30, 31].

Выбор оптимального интерфейса определяется тяжестью состояния пациента, степенью дыхательной недостаточности и индивидуальной переносимостью.

3. Влияние КГС на психоэмоциональный статус пациентов

Дыхательная недостаточность оказывает значительное влияние не только на физическое состояние, но и на психоэмоциональный статус пациентов. Хроническая гипоксия и ассоциированные с ней симптомы (одышка, слабость, повышенная утомляемость) могут приводить к развитию тревожно-депрессивных расстройств, когнитивной дисфункции и снижению качества жизни [19].

3.1. Когнитивные нарушения при респираторной патологии

Исследования с использованием Монреальской шкалы когнитивной оценки (MoCA) демонстрируют наличие когнитивных нарушений различной степени выраженности у пациентов с хроническими респираторными заболеваниями, особенно при ХОБЛ. MoCA позволяет оценить широкий спектр когнитивных функций, включая концентрацию внимания, исполнительные функции, память, речь, оптико-пространственную деятельность, концептуальное мышление, счёт и ориентированность [19].

Установлено, что у пациентов с ХОБЛ 3 стадии наблюдаются статистически значимые различия как по общему баллу MoCA, так и по отдельным субтестам, особенно в заданиях на запоминание и отсроченное воспроизведение. Степень когнитивных нарушений коррелирует с тяжестью основного заболевания и степенью гипоксемии [19].

3.2. Тревножно-депрессивные расстройства

Исследование эмоционального статуса пациентов с респираторной патологией выявляет высокую распространённость тревожных и депрессивных расстройств. Реактивная тревожность возникает как ответная реакция на стрессовые факторы, связанные с заболеванием (одышка, страх удушья, ограничение физической активности), в то время как личностная тревожность отражает индивидуальные особенности восприятия и реагирования на стрессовые ситуации [19].

У пациентов с ХОБЛ 2 и 3 стадий отмечается высокий уровень личностной тревожности, а при прогрессировании заболевания присоединяется умеренная и выраженная реактивная тревожность. Депрессивные расстройства различной степени выраженности (от субдепрессии до клинически значимой депрессии) выявляются у значительной доли пациентов и также демонстрируют прямую корреляцию с тяжестью респираторной патологии [19].

3.3. Влияние КГС на психоэмоциональный статус

Применение КГС, наряду с улучшением респираторной функции, может оказывать положительное влияние на психоэмоциональный статус пациентов через несколько механизмов:

1. Снижение выраженности одышки и повышение толерантности к физическим нагрузкам улучшает субъективное восприятие состояния, снижает уровень тревожности и страх удушья.

2. Улучшение оксигенации головного мозга способствует нормализации когнитивных функций, особенно внимания, памяти и исполнительных функций.

3. Повышение качества жизни за счёт расширения физических возможностей, улучшения сна и социальной адаптации.

4. Снижение зависимости от лекарственных препаратов может уменьшать психологический дискомфорт, связанный с необходимостью постоянного приёма медикаментов [17, 19, 29].

Исследования демонстрируют, что включение КГС в комплексную терапию пациентов с ХОБЛ способствует статистически значимому снижению уровня тревожности и выраженности депрессивных симптомов, а также улучшению показателей по шкале MoCA, особенно в доменах внимания и памяти [17, 19, 29].

Обсуждение

Анализ научных данных о применении кислородно-гелиевых смесей в комплексной терапии и реабилитации пациентов с респираторной патологией позволяет выделить ряд ключевых аспектов, определяющих перспективность данного метода.

Уникальные физические свойства гелия обеспечивают многофакторное терапевтическое действие КГС на различные звенья патогенеза респираторных

заболеваний. Низкая плотность гелия способствует трансформации турбулентного потока в ламинарный, что значительно снижает сопротивление дыхательных путей при обструктивных состояниях.

Центральный механизм действия КГС – улучшение лёгочной вентиляции и газообмена – реализуется через снижение аэродинамического сопротивления дыхательных путей, оптимизацию доставки кислорода к тканям, ускорение элиминации углекислого газа благодаря высокой диффузионной способности, уменьшение нагрузки на дыхательную мускулатуру и антиателектатическое действие вследствие низкой растворимости гелия в крови [6, 7, 11, 9].

Спектр клинического применения КГС охватывает широкий круг респираторных патологий: обструктивные нарушения верхних и нижних дыхательных путей, острый респираторный дистресс-синдром, бронхиальную астму, ХОБЛ, пневмонии различной этиологии, COVID-19 различной степени тяжести, а также состояния после экстубации.

Наиболее убедительно эффективность КГС доказана при обструктивных состояниях дыхательных путей, где снижение плотности дыхательной смеси позволяет существенно уменьшить работу дыхания и предотвратить прогрессирование дыхательной недостаточности [14, 15, 16, 25, 27].

Высокий профиль безопасности КГС обусловлен инертной природой гелия, отсутствием его метаболизма в организме и токсических эффектов. Гелий не оказывает бронходилатационного или наркотического действия, не обладает канцерогенными свойствами, что делает метод применимым для широкого круга пациентов, включая пожилых людей и пациентов с сопутствующей патологией [5, 21].

Потенциальные побочные эффекты ингаляций КГС минимальны и обычно связаны с техническими аспектами применения (дискомфорт от маски, ощущение сухости во рту при длительном использовании). Серьёзные нежелательные явления при правильном применении КГС не зарегистрированы [30, 31].

Особую ценность представляет комплексное влияние КГС на качество жизни пациентов. Помимо улучшения респираторной функции, применение КГС способствует нормализации психоэмоционального статуса, когнитивных функций и повышению социальной адаптации пациентов, что особенно важно при хронических заболеваниях дыхательной системы [17, 19, 29].

Перспективность включения КГС в комплексную терапию и реабилитацию респираторных заболеваний подтверждается многочисленными исследованиями. Метод может рассматриваться как эффективное дополнение к традиционной фармакотерапии, особенно у пациентов с ограниченной чувствительностью к стандартным лекарственным препара-

там или при наличии противопоказаний к их применению [29, 30, 32].

Дополнительным преимуществом КГС является потенцирование действия лекарственных аэрозолей за счёт улучшения их доставки в дистальные отделы дыхательных путей, что повышает эффективность небулайзерной терапии [17, 27, 33].

К ограничениям метода следует отнести необходимость специального оборудования для подготовки и доставки КГС, относительно высокую стоимость гелия, а также определённые технические сложности при интеграции КГС в существующие системы респираторной поддержки [30, 31].

Социально-экономическая значимость внедрения методик лечения с использованием КГС обусловлена растущей заболеваемостью респираторными патологиями, в том числе внебольничными пневмониями. Показатель заболеваемости внебольничными пневмониями в Российской Федерации в 2023 году увеличился на 22% и достиг 598,02 случая на 100 тысяч населения [2].

Применение КГС может способствовать сокращению сроков госпитализации, снижению потребности в дорогостоящих медикаментах и инвазивных методах респираторной поддержки, уменьшению частоты осложнений и, как следствие, снижению экономических затрат на лечение [29, 30, 32].

Выводы

На основании проведённого анализа научных данных можно сформулировать следующие выводы:

1. Кислородно-гелиевые смеси представляют собой перспективный метод комплексной терапии и реабилитации пациентов с заболеваниями органов дыхания, эффективность которого обусловлена уникальными физическими свойствами гелия и их влиянием на механику дыхания и газообмен.

2. Центральными механизмами терапевтического действия КГС являются: снижение аэродинами-

ческого сопротивления дыхательных путей, улучшение альвеолярной вентиляции, оптимизация газообмена, антиателектатический эффект и улучшение доставки лекарственных аэрозолей.

3. Клиническая эффективность КГС доказана при широком спектре респираторных патологий: обструктивных нарушениях верхних и нижних дыхательных путей, остром респираторном дистресс-синдроме, бронхиальной астме, ХОБЛ, пневмониях различной этиологии, включая COVID-ассоциированные пневмонии.

4. Применение КГС оказывает положительное влияние не только на респираторную функцию, но и на психоэмоциональный статус и когнитивные функции пациентов, способствуя повышению качества жизни.

5. Высокий профиль безопасности, отсутствие токсических эффектов и минимальное количество побочных явлений делают КГС методом выбора у пациентов с ограниченной чувствительностью к стандартной фармакотерапии.

6. Для оптимизации применения КГС в клинической практике необходима разработка стандартизированных протоколов лечения с учётом нозологической формы, тяжести заболевания и индивидуальных особенностей пациента.

7. Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение отдалённых результатов применения КГС, определение оптимальных протоколов лечения и реабилитации, а также разработка персонализированных подходов к использованию данного метода.

8. Внедрение методик лечения с использованием КГС имеет высокую социально-экономическую значимость, способствуя повышению эффективности терапии, сокращению сроков госпитализации, снижению инвалидизации и улучшению качества жизни пациентов с респираторной патологией.

Литература [References]

- 1 Визель А.А., Лысенко Г.В. Пневмония: к вопросу диагностики и лечения в современных условиях. *ПМ*. 2012;1(56):22-26. Vigel A.A., Lysenko G.V. Pneumonia: on the issue of diagnosis and treatment in modern conditions. *PM*. 2012;1(56):22-26. (In Russ.).
- 2 Царева А.Ю. Эпидемиологическая характеристика внебольничной пневмонии на современном этапе: обзор литературы. *Медицина*. 2024;12(4):98-118. Tsareva A.Yu. Epidemiological characteristics of community-acquired pneumonia at the present stage: a literature review. *Medicine*. 2024;12(4):98-118. (In Russ.).
- 3 Бобкина Н.В. Применение подогретой кислородно-гелиевой смеси у пациентов с артериальной гипертензией. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2021;20(4):333-340. Bobkina N.V. Use of heated oxygen-helium mixture in patients with arterial hypertension. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2021;20(4):333-340. (In Russ.).
- 4 Никандров В., Домашевич Е., Жук О. Ингаляции кислородно-гелиевой смеси. *Наука и инновации*. 2012;116:62-67. Nikandrov V., Domashevich E., Zhuk O. Inhalations of oxygen-helium mixture. *Science and Innovation*. 2012;116:62-67. (In Russ.).
- 5 Кушнир Г.М., Кунцевская И.В. Особенности психо-эмоционального статуса у больных с хронической обструктивной болезнью легких. *Таврический журнал психиатрии*. 2015;2(71):24-28. Kushnir G.M., Kuntsevskaya I.V. Features of psycho-emotional status in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Tavrichesky Journal of Psychiatry*. 2015;2(71):24-28. (In Russ.).
- 6 Douglas F., Gasiorek J.M., Swaffield J.A. *Fluid Mechanics*. Harlow, UK: Prentice Hall; 2001.
- 7 Grosz A.H., Jacobs I.N., Cho C., et al. Use of helium-oxygen mixtures to relieve upper airway obstruction in a pediatric population. *Laryngoscope*. 2001;111:1512-1514.
- 8 Черкашин Д.В., Ткаченко К.Н., Шахнович П.Г., Аланичев А.Е., Ефимов С.В., Макиев Р.Г. Перспективы применения гелия при некоторых заболеваниях дыхательной и сердечно-сосудистой систем. *Кардиология*. 2018;19:984-990. Cherkashin D.V., Tkachenko K.N.,

- Shakhnovich P.G., Alanichev A.E., Efimov S.V., Makiev R.G. Prospects of the use of helium in some diseases of the respiratory and cardiovascular systems. *Cardiology*. 2018;19:984-990. (In Russ.).
- 9 Кушнир Г.М., Кунцевская И.В. Особенности психо-эмоционального статуса у больных с хронической обструктивной болезнью легких. *Таврический журнал психиатрии*. 2015;2(71):24-28. Kushnir G.M., Kuntsevskaya I.V. Features of psycho-emotional status in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Tavrichesky Journal of Psychiatry*. 2015;2(71):24-28. (In Russ.).
 - 10 McGarvey J.M., Pollack C.V. Heliox in airway management. *Emerg Med Clin North Am*. 2008;26(4):905-920.
 - 11 Красновский А.Л., Григорьев С.П., Лошкарева Е.О., Золкина И.В. Использование гелиокса в лечении больных с бронхолегочной патологией. *Российский медицинский журнал*. 2012;(5):46-51. Krasnovsky A.L., Grigoriev S.P., Loshkareva E.O., Zolkina I.V. Use of heliox in the treatment of patients with bronchopulmonary pathology. *Russian Medical Journal*. 2012;(5):46-51. (In Russ.).
 - 12 Elleau C., Galperine R.I., Guenard H., et al. Helium-oxygen mixture in respiratory distress syndrome: a double-blind study. *J Pediatr*. 1993;122:132-136.
 - 13 Hessian H., Houck J., Harvey H. Airway obstruction due to lymphoma of the larynx and trachea. *Laryngoscope*. 1988;98:176-180.
 - 14 Chiappa G.R., Queiroga F. Jr., Meda E., et al. Heliox improves oxygen delivery and utilization during dynamic exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2009;179:1004-1010.
 - 15 Beurskens C.J., Brevoort D., Lagrand W.K., et al. Heliox improves carbon dioxide removal during lung protective mechanical ventilation. *Crit Care Res Pract*. 2014;2014:954814.
 - 16 Craig S.S., Dalziel S.R., Powell C.V., et al. Interventions for escalation of therapy for acute exacerbations of asthma in children: an overview of Cochrane Reviews. *Cochrane Database Syst Rev*. 2020;8/
 - 17 Jaber S., Carlucci A., Boussarsar M., et al. Helium-oxygen in the postextubation period decreases inspiratory effort. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;164:633-637.
 - 18 Farooq U., Riaz H.H., Munir A., Zhao M., Tariq A., Islam M.S. Application of heliox for optimized drug delivery through respiratory tract. *Physics of Fluids*. 2023;35(10):101301.
 - 19 Бобкина Н.В., Лядов М.В., Герасименко М.Ю., Житарева И.В. Применение подогреваемой кислородно-гелиевой смеси у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2021;20(1):23-29. Bobkina N.V., Lyadov M.V., Gerasimenko M.Yu., Zhigareva I.V. Use of heated oxygen-helium mixture in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2021;20(1):23-29. (In Russ.).
 - 20 Смирнова М.И., Антипушина Д.Н., Драпкина О.М. Возможные варианты применения гелиево-кислородной смеси при острой респираторной патологии и в условиях пандемии COVID-19. *Профилактическая медицина*. 2020;23(7):78-84. Smirnova M.I., Antipushina D.N., Drapkina O.M. Possible options for using helium-oxygen mixture in acute respiratory pathology and in the context of the COVID-19 pandemic. *Preventive medicine*. 2020;23(7):78-84. (In Russ.).
 - 21 Бобкина Н.В. Применение подогреваемой кислородно-гелиевой смеси у пациентов с артериальной гипертензией. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2021;20(4):333-340. Bobkina N.V. Use of heated oxygen-helium mixture in patients with arterial hypertension. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2021;20(4):333-340. (In Russ.).
 - 22 Бова А.А. Синдром дыхательной недостаточности: состояние проблемы и врачебная тактика. *Медицинские новости*. 2011;2:15-19. Bova A.A. Respiratory failure syndrome: state of the problem and medical tactics. *Medical news*. 2011;2:15-19. (In Russ.).
 - 23 Чучалин А.Г. Пульмонология. Национальное руководство. Москва; 2009. Чучалин А.Г. Пульмонология. Национальное руководство. Москва; 2009. (In Russ.).
 - 24 Pavone M., De Sanctis F. Aerosol Therapy (Bronchodilators, Corticoids), Surfactant Therapy, Humidification, Oxygen, Nitric Oxide, and Heliox. In: *Pharmacology in Noninvasive Ventilation*. Cham: Springer International Publishing. 2024:251-256.
 - 25 Журавель С.В., Гаврилов П.В., Кузнецова Н.К., Уткина И.И., Талызин А.М., Александрова В.Э. Клинический случай: термический гелий в лечении пневмонии, вызванной новой коронавирусной инфекцией COVID-19 (SARS-CoV-2). *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье*. 2021;(1):5-10. Zhuravel S.V., Gavrilov P.V., Kuznetsova N.K., Utkina I.I., Talyzin A.M., Aleksandrova V.E. Clinical case: thermal helium in the treatment of pneumonia caused by the new coronavirus infection COVID-19 (SARS-CoV-2). *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ". Rehabilitation, Doctor and Health*. 2021; (1): 5-10. (In Russ.).
 - 26 Hallowell R. Physiology and clinical use of heliox. UpToDate. Waltham, MA; 2023.
 - 27 Chen X., Xu L., Li S., Yang C., Wu X., Feng M., et al. Efficacy of respiratory support therapies during pulmonary rehabilitation exercise training in chronic obstructive pulmonary disease patients: a systematic review and network meta-analysis. *BMC Medicine*. 2024;22(1):389.
 - 28 Chen X., Xu L., Li S., Yang C., Wu X., Feng M., et al. Efficacy of respiratory support therapies during pulmonary rehabilitation exercise training in chronic obstructive pulmonary disease patients: a systematic review and network meta-analysis. *BMC Medicine*. 2024;22(1):389.
 - 29 Abdelrahim M.E., Saeed H., Harb H.S., Madney Y.M. Aerosol Therapies During High Flow Oxygen Therapy. In: *Essentials of Aerosol Therapy in Critically Ill Patients*. 2021:189-194.
 - 30 Gomes N.S., da Silva W.A., Pena R., Chiappa G. Heliox improves minute-ventilation variability during incremental maximal exercise in COPD patients. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*. 2023;21:1-7.
 - 31 Alessa A., Alanazi A., Altuwairqi F., Alqarni A., Allehyani B., Alamer M., et al. The Applications of Heliox therapy, article review. *Journal of Advanced Medical Practice*. 2022;3(1):45-52.
 - 32 Sutherland L.D., Pearl R.G. Non-Oxygen Therapeutic Gases in the OR and ICU. *ASA Monitor*. 2023;87(8):29-30.
 - 33 Berganza C.J., Zhang J.H. The role of helium gas in medicine. *Medical Gas Research*. 2013;3:18.

Авторская справка

Хатунцева Юлия Алексеевна

Врач терапевт-пульмонолог, Пушкинская клиническая больница им. проф. Розанова В.П.; аспирант, младший научный сотрудник, Институт медико-биологических проблем Российской академии наук.

ORCID 0009-0000-0324-3460; yulya-hatuba@yandex.ru

Вклад автора в статью: разработка концепции исследования, постановка задач исследования, работа с источниками, анализ и обобщение полученных данных.

Author's reference

Yuliya A. Khatuntseva

Therapist-pulmonologist, Pushkin Clinical Hospital named after prof. V.P. Rozanov; postgraduate student, junior research fellow, Institute of Medical and Biological Problems of the Russian Academy of Sciences.

ORCID 0009-0000-0324-3460; yulya-hatuba@yandex.ru

Author's contribution to the article: development of the research concept, setting research objectives, working with sources, analysis and generalization of the obtained data.

Мануйлов Владимир Михайлович

Д-р мед. наук, профессор, заслуженный врач Российской Федерации, главный врач Пушкинской клинической больницы им. проф. Розанова В.Н.
ORCID 0000-0002-0854-8922; pushkino_rb@mail.ru
Вклад автора: разработка концепции исследования, постановка задач исследования.

Щербюк Александр Николаевич

Д-р мед. наук, профессор, заведующий научно-клинического отдела Пушкинская клиническая больница им. проф. Розанова В.П.; профессор кафедры хирургических болезней Московский медицинский университета «Реавиз».
ORCID 0000-0003-2616-2940; ANS1949@Rambler.ru
Вклад автора: разработка концепции исследования, постановка задач исследования.

Немцверидзе Яков Элгуджович

Специалист научно-инновационного отдела, Московский медицинский университет «Реавиз»; врач-стоматолог, врач-клинический ординатор кафедры ортопедической стоматологии, Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского.
ORCID 0000-0002-8784-7655; 9187751@gmail.com
Вклад автора: работа с источниками, анализ и обобщение полученных данных.

Андрущенко Артём Андреевич

Студент 5 курса лечебного факультета, Московский медицинский университет «Реавиз».
ORCID 0009-0006-0362-8487; andrushchenko_artem@mail.ru
Вклад автора: работа с источниками, анализ и обобщение полученных данных.

Курнакин Григорий Игоревич

Студент 6 курса лечебного факультета, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова.
Вклад автора: работа с источниками, анализ и обобщение полученных данных.

Vladimir M. Manuylov

Dr. Sci. (Med.), Professor, Honored Doctor of the Russian Federation, Chief Physician of the Pushkin Clinical Hospital named after prof. V.P. Rozanov.
ORCID 0000-0002-0854-8922; pushkino_rb@mail.ru
Author's contribution: development of the research concept, formulation of research objectives.

Aleksandr N. Shcherbyuk

Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Scientific and Clinical Department of the Pushkin Clinical Hospital named after prof. V.P. Rozanov; Professor of the Department of Surgical Diseases, Moscow Medical University "Reaviz".
ORCID 0000-0003-2616-2940; ANS1949@Rambler.ru
Author's contribution: development of the research concept, formulation of research objectives.

Yakov E. Nemtsveridze

Specialist of the scientific and innovation department, Moscow Medical University "Reaviz"; dentist, clinical resident of the department of orthopedic dentistry, Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirovsky.
ORCID 0000-0002-8784-7655; 9187751@gmail.com
Author's contribution: work with sources, analysis and generalization of the obtained data.

Artem A. Andrushchenko

5th year student of the medical faculty, Moscow Medical University "Reaviz".
ORCID 0009-0006-0362-8487; andrushchenko_artem@mail.ru
Author's contribution: work with sources, analysis and generalization of the obtained data.

Grigoriy I. Kurnakin

6th year student of the medical faculty, Pirogov Russian National Research Medical University.
Author's contribution: work with sources, analysis and generalization of the obtained data.