

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

КАРДИОЛОГИЯ

УДК 616.12-008.46-039-08

<https://doi.org/10.23946/2500-0764-2026-11-1-74-81>

# СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ИНТЕРВАЛЬНЫХ ГИПОКСИЧЕСКИ-ГИПЕРОКСИЧЕСКИХ ТРЕНИРОВОК

САХАРЧУК А. Ю.✉, ЛЕБЕДЕВА Н. Б.

Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний,  
бульвар имени академика Л.С. Барбараша, д. 6, г. Кемерово, 650002, Россия

## Основные положения

Сердечная недостаточность (СН) – одно из наиболее распространенных и тяжелых заболеваний сердечно-сосудистой системы, сопровождающееся высокой смертностью, в основном связанной с частыми эпизодами острой декомпенсации. Несмотря на достижения в лечении, длительная реабилитация пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) остается проблемой. Ввиду ограничений традиционных методов, таких как базисная кардиореабилитация или медикаментозная терапия, существует потребность поиска новых подходов.

## Резюме

**Цель.** Проанализировать современные подходы к реабилитации и оценить возможности и перспективы применения ИГГТ у пациентов с ХСН. **Материалы и методы.** Проведен анализ научных публикаций, представленных в базах данных elibrary.ru, PubMed за период с 2014 по 2024 гг. по таким ключевым словам, как «гипоксическое воздействие, интервальные гипоксические тренировки, гипокси-гиперокситерапия, ре-окси терапия, патофизиологические механизмы гипоксии, кардиореабилитация». Критериями включения являлись результаты рандомизированных исследований, системные обзоры,

а также оригинальные статьи с наличием контрольной группы. **Результаты.** Показано, что метод ИГГТ является перспективным направлением, который обладает патофизиологическим обоснованием и демонстрирует положительные результаты в клинических исследованиях. **Заключение.** Дальнейшее развитие и практическая интеграция этого метода требуют крупных рандомизированных исследований для подтверждения его клинической эффективности и безопасности.

**Ключевые слова:** гипокси-гиперокситерапия, ре-окси терапия, патофизиологические механизмы гипоксии, кардиореабилитация

## Корреспонденцию адресовать:

Сахарчук Алексей Юрьевич, 650002, Россия, г. Кемерово,  
бульвар имени академика Л. С. Барбараша, д. 6,  
E-mail: alex90s03kemerovo@mail.ru

© Сахарчук А. Ю. и др.

**Соответствие принципам этики.** Решение комитета по этике и доказательности медицинских научных исследований НИИ КПССЗ, выписка из протокола № 3 заседания от 24.02.2025 г.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта фонда молодых ученых № 02/2025.

## Для цитирования:

Сахарчук А. Ю., Лебедева Н. Б. Современные подходы к реабилитации пациентов с сердечной недостаточностью. перспективы применения метода интервальных гипоксически-гипероксических тренировок. *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2026;11(1):74-81. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2026-11-1-74-81>

Поступила:

28.10.2025

Поступила после доработки:

17.02.2026

Принята в печать:

27.02.2026

Дата печати:

31.03.2026

## Сокращения

ХСН – хроническая сердечная недостаточность  
ИГГТ – метод интервальных гипоксически-гипероксических тренировок  
СН – сердечная недостаточность

ФТ – физические тренировки  
ТФН – толерантность к физической нагрузке  
ОДСН – острая декомпенсация сердечной недостаточности  
ИГТ – метод интервальных гипоксических тренировок  
АФК – активные формы кислорода

REVIEW ARTICLE  
CARDIOLOGY

# MODERN APPROACHES TO REHABILITATION OF PATIENTS WITH HEART FAILURE. PROSPECTS FOR USING THE INTERVAL HYPOXIC-HYPEROXIC TRAINING METHOD

ALEXEY YU. SAKHARCHUK ✉, NATALIYA B. LEBEDEVA

*Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases,  
Barbarash Boulevard, 6, Kemerovo, 650002, Russia*

## HIGHLIGHTS

Heart failure (HF) is one of the most common and severe diseases of the cardiovascular system, accompanied by high mortality, mainly associated with frequent episodes of acute decompensation. Despite advances in treatment, long-term rehabilitation of patients with chronic heart failure (CHF) remains a problem. Due to the limitations of traditional methods such as basic cardiac rehabilitation or drug therapy, there is a need to find new approaches.

## Abstract

**Aim.** The purpose of this review is to analyze modern approaches to rehabilitation and evaluate the possibilities and prospects of using the method of interval hypoxic-hyperoxic training (IGTT) in patients with CHF. **Materials and methods.** Analysis of scientific publications presented in databases elibrary.ru PubMed was conducted for the period from 2014 to 2024 on keywords such as "hypoxic effects, interval hypoxic training, hypoxic-hyperoxytherapy, re-oxy therapy, pathophysiological mechanisms of hypoxia, cardio-

rehabilitation." The inclusion criteria were the results of randomized trials, systematic reviews, as well as original articles with a control group. **Results.** It has been shown that the IGTT method is a promising direction that has a pathophysiological basis and demonstrates positive results in clinical trials. **Conclusions.** Further development and practical integration of this method require large randomized trials to confirm its clinical efficacy and safety.

**Keywords:** hypoxy-hyperoxytherapy, re-oxy therapy, pathophysiological mechanisms of hypoxia, cardiorehabilitation

### Corresponding author:

Alexey Sakharchuk, Barbarash Boulevard, 6, Kemerovo, 650002, Russia,  
E-mail: alex90s03kemerovo@mail.ru  
© Alexey Yu. Sakharchuk, et al.

**Ethics Statement.** Decision of the Committee on Ethics and Evidence of Medical Scientific Research, NII KPSS, extract from protocol No. 3 the meeting of 24.02.2025.

**Conflict of Interest.** The authors declare that there is no conflict of interest.

**Financing.** The research was carried out at the expense of a grant from the Foundation for Young Scientists No. 02/2025

### For citation:

Alexey Yu. Sakharchuk, Nataliya B. Lebedeva. Modern approaches to rehabilitation of patients with heart failure. Prospects for using the interval hypoxic-hyperoxic training method. *Fundamental and Clinical Medicine*. 2026;11(1):74-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2026-11-1-74-81>

**Received:**  
28.10.2025

**Received in revised form:**  
17.02.2026

**Accepted:**  
27.02.2026

**Published:**  
31.03.2026

## Введение

Сердечная недостаточность (СН) остается одним из наиболее распространенных и тяжелых заболеваний сердечно-сосудистой системы. Прогнозируется и дальнейшее увеличение распространенности заболевания вследствие большей выживаемости после постановки диагноза, увеличения доступности методов лечения и продолжительности жизни населения в целом [1–5].

Несмотря на то, что за последние десятилетия был достигнут существенный прогресс в разработке новых фармакологических методов лечения СН [6], среднегодовая смертность от СН в Российской Федерации остается высокой и составляет приблизительно 6 % [7]. При этом госпитализации по поводу острой декомпенсации сердечной недостаточности (ОДСН) являются главным предиктором смерти у таких больных [8]. Экономические затраты на лечение сердечной недостаточности в Российской Федерации по состоянию на 2021 год составили 81,6 миллиарда рублей [9].

Таким образом, большое медико-социальное значение ОДСН обуславливает необходимость проведения кардиореабилитации, которая доказанно снижает риск повторных госпитализаций и смертность при сердечно-сосудистых заболеваниях [10–13].

Известно, что ведущим методом стандартной кардиореабилитации являются физические тренировки (ФТ) [14]. На стационарном этапе реабилитации ФТ подбираются индивидуально и проводятся под постоянным контролем жизненных показателей. Проведение ФТ у пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) осложняется вследствие снижения толерантности к физической нагрузке (ТФН), наличия коморбидных состояний, лекарственной нагрузки и низкой приверженности [15]. Особенно остро стоит проблема восстановления после острой декомпенсации (ОДСН), когда имеют место ограничения физической активности, выраженная астенизация пациентов, а также отсутствие стандартизированных реабилитационных программ [16].

Ввиду ограничений традиционных методов кардиореабилитации, отсутствия клинических рекомендаций по реабилитации пациентов с СН, отсутствия протоколов ФТ для проведения реабилитации у пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН,) в том числе после острой декомпенсации, необходим поиск

новых подходов, которые позволили бы повысить эффективность и безопасность реабилитационных программ и одновременно снизить риски перегрузок и ухудшения состояния.

В качестве дополнения или альтернативы ФТ исследователи рассматривают тренирующее воздействие гипоксии, которое изначально предназначалось для повышения выносливости здоровых лиц в качестве метода профилактики сердечно-сосудистых заболеваний [17–20].

**Цель настоящего обзора:** проанализировать современные подходы к реабилитации и оценить возможности и перспективы применения ИГГТ у с ХСН.

**Методология поиска:** проведен анализ научных публикаций, представленных в базах данных elibrary.ru, PubMed с 2014 по 2024 гг., по таким ключевым словам, как «гипоксическое воздействие, интервальные гипоксические тренировки, гипоксии-гиперокситерапия, ре-окси терапия, патофизиологические механизмы гипоксии, кардиореабилитация». Критериями включения являлись результаты рандомизированных исследований, системные обзоры, а также оригинальные статьи с наличием контрольной группы.

### Патофизиологическое обоснование гипоксических тренировок при ХСН

Гипоксические тренировки способствуют формированию нового функционально-метаболического состояния организма, обеспечивающего его адаптацию к снижению концентрации кислорода. Этот процесс запускает комплекс защитных реакций, включающий увеличение поверхности альвеол, повышение плотности капиллярной сети, улучшение митохондриальной функции и общего тканевого обмена. Данные изменения способствуют увеличению кислородной ёмкости тканей, что имеет критическое значение для пациентов с СН, у которых наблюдаются нарушения адекватного кислородного обмена [18, 21, 22].

Известно, что адаптационные процессы к гипоксическим условиям и повышение неспецифической резистентности организма значительно ускоряются при дробном гипоксическом воздействии, разбитом на несколько повторных эпизодов с продолжительностью, ограниченной физиологическими нормами, что позволяет эффективно компенсировать возникающие функциональные изменения [23, 24]. В фазу реоксигенации восстанавли-

вается первоначальный уровень кислородного снабжения на фоне повышенной активности механизмов транспорта и утилизации кислорода. Метод интервальных гипоксических тренировок (ИГТ) базируется на чередовании кратковременного дыхания воздухом с пониженным содержанием кислорода (10–16% O<sub>2</sub>) и нормальным воздухом.

Ключевым механизмом, посредством которого реализуются лечебно-модифицирующие и патологические эффекты гипоксии, считается изменение скорости образования активных форм кислорода (АФК) и редокс-сигнализация через внутриклеточные и межклеточные электронные транспортные цепи, поддерживающие баланс между окислительным стрессом и антиоксидантной защитой в аэробных организмах [25]. Активные формы кислорода, включающие свободные радикалы и перекись водорода, генерируются во всех основных аэробных биологических системах и играют центральную роль в регуляции жизненных процессов и формировании клеточного ответа на внешние воздействия.

Под влиянием гипоксии через АФК активируется регуляторный белок — фактор транскрипции, индуцируемый гипоксией (HIF), который является ключевым элементом адаптации к гипоксическим условиям. Выделяют три основных типа HIF: HIF-1 (включая несколько подтипов), HIF-2 и HIF-3; первые два обеспечивают разнообразные адаптивные процессы, тогда как HIF-3 может ассоциироваться с нежелательными эффектами гипоксии. Под воздействием HIF-1 $\alpha$  усиливается экспрессия более 100 генов, необходимых для адаптации к недостатку кислорода, включая те, что регулируют эндотелий-зависимую вазодилатацию, ангиогенез и ангионеогенез, энергетический обмен, митохондриальный метаболизм, клеточный цикл, эритропоэз, обмен железа и другие важные функции [26]. Активированная в процессе ИГТ экспрессия HIF-1 $\alpha$  запускает метаболические пути, способствующие восстановлению миокарда и улучшению функции сердца после ишемических эпизодов [27].

В 2017 году в понимание патофизиологии гипоксии внесли вклад Pugh C.W. и Ratcliffe P.J., открыв уникальный механизм прямого клеточного восприятия изменений кислородного уровня в крови. Этот сигнал, чувствительный к кислороду, посредством каталити-

ческой активности ряда 2-оксоглутарат-зависимых оксигеназ стимулирует повышение уровня HIF-1 $\alpha$  [27].

Развитием метода гипокситерапии стал метод интервальных гипоксически-гипероксических тренировок (ИГГТ) или ре-окси терапия. Этот аппаратный физиотерапевтический метод основан на циклическом дозированном воздействии на организм двумя различными газовыми средами: воздухом с пониженным содержанием кислорода и воздухом с повышенным содержанием кислорода (30–35 % O<sub>2</sub>) [28–30].

Метод представляет собой проведение курса ИГГТ на аппарате, который после гипоксического теста (десятиминутного исследования с концентрацией кислорода в смеси 11–12 %), подбирает индивидуальную дозировку кислорода во вдыхаемой смеси, как в рамках гипоксии, так и в рамках гипероксии. В основном выделяют 3 уровня гипоксической смеси: с содержанием кислорода 14–16 %, щадящая смесь, в основном используемая в гериатрической практике; с содержанием кислорода 12–13 %, являющаяся наиболее распространенной у пациентов широкого профиля; с содержанием 9–10 %, используемая в тренировках спортсменов. Для кардиореабилитации обычно используют гипоксическую смесь с содержанием кислорода 12–13 %. Концентрация кислорода в гипероксической смеси составляет 35–40 % и подстраивается под результаты гипоксического теста.

Длительность гипоксической фазы составляет 3–5 минут, гипероксической – 1–3 минуты. Общая длительность одной процедуры – 40–45 минут. Количество тренировок зависит от клинического состояния пациента и сроков его нахождения в стационаре. Например, у пациентов, перенесших коронарное шунтирование, курс ре-окси терапии составлял от 10 до 14 дней [31].

Метод обеспечивает более мягкое и безопасное воздействие, улучшает переносимость и снижает риск гипоксии тканей. Такая ре-окси терапия стимулирует восстановительные процессы, минимизируя стрессовые эффекты гипоксии [22, 32].

#### **Существующие исследования ре-окси терапии при сердечной недостаточности**

В ряде работ, посвященных изучению эффективности и безопасности применения ре-окси терапии при различных сердечно-со-

судистых заболеваниях, в том числе у пациентов с ХСН, отмечается безопасность метода [28–34].

Исследователи показали, что ИГГТ благотворно влияет на толерантность к физическим нагрузкам при использовании в кардиореабилитации даже у коморбидных, пожилых пациентов [30]. В группе больных сердечной недостаточностью таких пациентов большинство. Курс ИГГТ улучшает значения показателя теста шестиминутной ходьбы и приводит к увеличению общего числа капилляров на единицу поверхности миокарда. Это связано с образованием активных форм кислорода, которые активируют выработку HIF-1, запускающих целые каскады реакций, таких как регулирование окислительного стресса, индукция эритропоэза, регуляция обмена железа, ангиогенез и других [35].

Также было показано, что в группах пациентов, получавших ИГГТ на стационарном этапе реабилитации, наблюдается снижение частоты сердечных сокращений, по сравнению с контрольными группами, проходившими обычный курс реабилитации [36]. Наряду с этим установлено, что проведение ИГГТ снижает уровни систолического и диастолического давления в большей степени, чем это происходит в ходе лечения без использования ре-окси терапии. Показано, что происходит значимое уменьшение уровня холестерина и глюкозы, однако при анализе не было выявлено значимых различий между группами в изменении показателей гемоглобина, эритроцитов и ретикулоцитов [37]. Снижение артериального давления и частоты сердечных сокращений авторы объясняют положительным влиянием ИГГТ на вегетативную регуляцию сердца и процессов ангиогенеза, уменьшением процессов окислительного стресса, а также освобождением свободных радикалов оксида азота, способствующих вазодилатации и, как следствие, снижению артериального давления [34].

В ряде исследований сообщалось о частоте возникновения головокружения, сердцебиения, головной боли и одышке у участников группы, получающих ИГГТ, в течение первых 2–5 сеансов, но эти симптомы исчезали после увеличения концентрации ингаляционного кислорода без прерывания сеанса гипоксии-гипероксии. Приступы стенокардии наблюдались в 6 из 408 сеансов. О других нежелательных яв-

лениях у участников исследования не сообщалось. В других исследованиях не сообщалось о каких-либо неблагоприятных событиях, что позволяет предположить, что ИГГТ безопасна [23, 38, 39].

Существуют данные о снижении уровня натрийуретического пептида у пациентов после курса ИГГТ, что свидетельствует о возможности метода снижать перегрузку левого желудочка, тем самым снижая риск декомпенсации сердечной недостаточности [29].

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о том, что применение ИГГТ у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, включая СН, безопасно, улучшает переносимость физических нагрузок, метаболические показатели и функциональные параметры сердечной деятельности.

Тем не менее, метод имеет ряд противопоказаний и ограничений, например, активные воспалительные процессы, тяжелые онкологические заболевания, длительность курса тренировок на практике может оказаться длиннее продолжительности госпитализации. Помимо этого, учитывая исходно низкую сатурацию пациентов, при проведении терапии необходим тщательный контроль в присутствии врача. Существует вероятность возникновения таких нежелательных явлений, как потеря сознания, вызванная острой дыхательной недостаточностью, жизнеугрожающие нарушения ритма и появления зон локальной ишемии на фоне гипоксии, однако таких нежелательных событий в исследованиях зафиксировано не было.

Следует отметить и относительно небольшое число крупных рандомизированных и многоцентровых исследований по вопросам ИГГТ, что не дает полной картины о ее влиянии на пациентов с различными патологиями, в том числе с ХСН.

Несмотря на это, ИГГТ является перспективным методом реабилитации пациентов, в том числе потенциально может быть использован при ОДСН, однако требуются дополнительные, в том числе крупные рандомизированные и многоцентровые, исследования. Применение ре-окси терапии при ОДСН сопряжено с необходимостью выбора индивидуального режима тренировок для каждого пациента и непрерывного наблюдения врача, но при этом открывает новые возможности в реабилитации таких пациентов, улучшении качества жизни и снижении госпитализации и смертности.

## Вклад авторов

**Н. Б. Лебедева:** разработка концепции и дизайна исследования, подготовка текста рукописи.

**А. Ю. Сахарчук:** сбор и анализ данных, подготовка текста рукописи, полная ответственность за содержание.

Все авторы утвердили окончательную версию статьи.

## Author contributions

**Nataliya B. Lebedeva:** conceived and designed the study, wrote the manuscript.

**Alexey Yu. Sakharchuk:** collected and processed the data; performed the data analysis; wrote the manuscript

All authors approved the final version of the article.

## Литература :

- Ситникова М. Ю., Лясникова Е. А., Юрченко А. В., Трушкина М. А., Либис Р. А., Кондратенко В. Ю. и др. [Результаты Российского госпитального регистра хронической сердечной недостаточности в трех субъектах Российской Федерации]. *Кардиология*. 2015;55(10):5–13. <https://doi.org/10.18565/cardio.2015.10.5-13>
- Vedin O., Lam C.S.P., Koh A.S., Benson L., Teng T.H.K., Tay W.T. et al. Significance of Ischemic Heart Disease in Patients With Heart Failure and Preserved, Midrange, and Reduced Ejection Fraction: A Nationwide Cohort Study. *Circ. Heart Fail.* 2017;10(6):e003875. <https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.117.003875>
- Dokainish H., Teo K., Zhu J., Roy A., AlHabib K.F., ElSayed A. et al. Global mortality variations in patients with heart failure: results from the International Congestive Heart Failure (INTER-CHF) prospective cohort study. *Lancet Glob. Health.* 2017;5(7):e665–e672. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(17\)30196](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30196)
- GBD 2017 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet.* 2018;392(10159):1789–1858. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32279-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32279-7)
- Virani S.S., Alonso A., Aparicio H.J., Benjamin E.J., Bittencourt M.S., Callaway C.W. et al. American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart Disease and Stroke Statistics–2021 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation.* 2021;143(8):e254–e743. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000950>
- Popa I.P., Haba M.Ş.C., Măranducă M.A., Tănase D.M., Şerban D.N., Şerban L.I. et al. Modern Approaches for the Treatment of Heart Failure: Recent Advances and Future Perspectives. *Pharmaceutics*. 2022;14(9):1964. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14091964>
- Фомин И. В. Хроническая сердечная недостаточность в Российской Федерации: что сегодня мы знаем и что должны делать. *Российский кардиологический журнал*. 2016;(8):7–13. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2016-8-7-13>
- Российское кардиологическое общество (РКО). Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2020. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(11):4083. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4083>
- Драпкина О. М., Бойцов С. А., Омельяновский В. В., Концевая А. В., Лукьянов М. М., Игнатъева В. И. и др. Социально-экономический ущерб, обусловленный хронической сердечной недостаточностью, в Российской Федерации. *Российский кардиологический журнал*. 2021;26(6):4490. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4490>
- Гюева З. М., Богданов А. Р., Залегова Т. С., Богданова А. А. Ожирение как фактор риска развития хронической сердечной недостаточности (литературный обзор). *Доктор. Ру*. 2017;10(139):21–25. EDN: ZXWOHX
- Pelliccia A., Sharma S., Gati S., Bäck M., Börjesson M., Caselli S., et al. 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur. Heart J.* 2021;42(1):17–96. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa605>
- Packer M., Anker S.D., Butler J., Filippatos G., Ferreira J.P., Pocock S.J., et al. Empagliflozin in Patients With Heart Failure, Reduced Ejection Fraction, and Volume Overload: EMPEROR-Reduced Trial. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2021;77(11):1381–1392. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.01.033>
- You G., Xie J., Tong W., Zhao Sh. The new perspective of cardiac exercise rehabilitation: based on integrative physiology. *Front. Physiol.* 2025;16:1651589. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1651589>
- Halpin S.J., McIvor C., Whyatt G., Adams A., Harvey O., McLean L., et al. Postdischarge symptoms and rehabilitation needs in survivors of COVID-19 infection: A cross-sectional evaluation. *J. Med. Virol.* 2021;93(2):1013–1022. <https://doi.org/10.1002/jmv.26368>
- Владимирский В. Е., Бобылев Ю. М. Реабилитация больных хронической сердечной недостаточностью: возможности и нерешенные проблемы. *Пермский медицинский журнал*. 2021;4:85–103. <https://doi.org/10.17816/pmj38485%103>
- Writing Committee Members; ACC/AHA Joint Committee Members. 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the Management of Heart Failure. *J. Card. Fail.* 2022;28(5):e1–e167. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2022.02.010>
- Heidenreich P.A., Bozkurt B., Aguilar D., Allen L.A., Byun J.J., Colvin M.M., et al. 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the Management of Heart Failure: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2022;79(17):e263–e421. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.12.012>
- Glazachev OS, Kryzhanovskaya SY, Zapara MA, Dudnik EN, Samartseva VG, Susta D. Safety and Efficacy of Intermittent Hypoxia Conditioning as a New Rehabilitation/ Secondary Prevention Strategy for Patients with Cardiovascular Diseases: A Systematic Review and Meta-analysis. *Curr. Cardiol. Rev.* 2021;17(6):e051121193317. <https://doi.org/10.2174/1573403X17666210514005235>
- Ларина В. Н., Ахматова Ф. Д., Аракелов С. Е., Мохов А. Е., Доронина И. М., Денисова Н. Н. [Современные стратегии кардиореабилитации после инфаркта миокарда и чрескожного коронарного вмешательства]. *Кардиология*. 2020;60(3):111–118. <https://doi.org/10.18087/кардио.2020.3.n546>
- Zaree A., Dev S., Yaseen Khan I., Arain M., Rasool S., Khalid Rana M.A., et al. Cardiac Rehabilitation in the Modern Era: Optimizing Recovery and Reducing Recurrence. *Cureus*. 2023;15(9):e46006. <https://doi.org/10.7759/cureus.46006>
- Глазачев О. С., Лямина Н. П., Спирина Г. К. Интервальное гипоксическое кондиционирование: опыт и перспективы применения в программах кардиореабилитации. *Российский кардиологический журнал*. 2021;26(5):4426. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4426>
- Athmuri D.N., Bhattacharyya J., Bhatnagar N., Shiekh P.A. Alleviating hypoxia and oxidative stress for treatment of cardiovascular diseases: a biomaterials perspective. *J. Mater. Chem. B.* 2024;12(41):10490–10515. <https://doi.org/10.1039/d4tb01126k>
- Uzun A.B., Iliescu M.G., Stanciu L.E., Ionescu E.V., Ungur R.A., Ciortea V.M., et al. Effectiveness of Intermittent Hypoxia-Hyperoxia Therapy in Different Pathologies with Possible Metabolic Implications. *Metabolites*. 2023;13(2):181. <https://doi.org/10.3390/metabo13020181>
- Glazachev O., Kopylov P., Susta D., Dudnik E., Zagaynaya E. Adaptations following an intermittent hypoxia-hyperoxia training in coronary artery disease patients: a controlled study. *Clin. Cardiol.* 2017;40(6):370–376. <https://doi.org/10.1002/clc.22670>
- Sasidharan R., Schippers J.H.M., Schmidt R.R. Redox and low-oxygen stress: signal integration and interplay. *Plant. Physiol.* 2021;186(1):66–78. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiaa081>
- Yang C., Zhong Z.F., Wang S.P., Wang C.T., Yu B., Wang Y.T. HIF-1: structure, biology and natural modulators. *Chin. J. Nat. Med.*

- 2021;19(7):521–527. [https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(21\)60051-1](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(21)60051-1)
27. Pugh C.W., Ratcliffe P.J. New horizons in hypoxia signaling pathways. *Exp. Cell. Res.* 2017;356(2):116–121. <https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2017.03.008>
28. Hadanny A., Efrati S. The hyperoxic-hypoxic paradox. *Biomolecules.* 2020;10(6):958. <https://doi.org/10.3390/biom10060958>
29. Bestavashvili A., Glazachev O., Bestavashvili A., Suvorov A., Zhang Y., Zhang X., et al. Intermittent Hypoxic-Hyperoxic Exposures Effects in Patients with Metabolic Syndrome: Correction of Cardiovascular and Metabolic Profile. *Biomedicines.* 2022;10(3):566. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10030566>
30. Bayer U., Likar R., Pinter G., Stettner H., Demschar S., Trummer B. et al. Effects of intermittent hypoxia-hyperoxia on mobility and perceived health in geriatric patients performing a multimodal training intervention: a randomized controlled trial. *BMC Geriatr.* 2019;19(1):167. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1184-1>
31. Сахарчук А. Ю., Егле А. П., Черенева Л. А., Лебедева Н. Б., Аргунова Ю. А. Эффекты ре-окси терапии у пациентов, перенесших коронарное шунтирование. 13-й Евразийский конгресс кардиологов: сб. тез. М.: ИнтгерМедсервис, 2025:65. [https://doi.org/10.38109/ECC\\_2025](https://doi.org/10.38109/ECC_2025)
32. Serebrovskaya T.V., Xi L. Intermittent hypoxia training as non-pharmacologic therapy for cardiovascular diseases: Practical analysis on methods and equipment. *Exp. Biol. Med.* (Maywood). 2016;241(15):1708–1723. <https://doi.org/10.1177/1535370216657614>
33. Tuter D.S., Kopylov P.Y., Syrkin A.L., Glazachev O.S., Komarov R.N., Katkov A.I., et al. Intermittent systemic hypoxic–hyperoxic training for myocardial protection in patients undergoing coronary artery bypass surgery: first results from a single-centre, randomised controlled trial. *Open Heart.* 2018;5:e000891. <https://doi.org/10.1136/openhrt-2018-000891>
34. Doehner W., Fischer A., Alimi B., Muhar J., Springer J., et al. Intermittent Hypoxic-Hyperoxic Training During Inpatient Rehabilitation Improves Exercise Capacity and Functional Outcome in Patients With Long Covid: Results of a Controlled Clinical Pilot Trial. *J. Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2024;15(6):2781–2791. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13628>
35. Ойноткинова О. Ш., Мацкеплишвили С. Т., Масленникова О. М., Ершов А. А. Комплексные подходы к коррекции сердечно-сосудистых показателей и митохондриальной дисфункции при метаболическом синдроме методом гипо-гипероксических тренировок. *Эффективная фармакотерапия.* 2024;20(26):14–23. <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2024-20-26-14-23>
36. Tian M., Du W., Yang S., Liao Q., Guo F., Li S. Application and progress of hyperbaric oxygen therapy in cardiovascular diseases. *Med. Gas. Res.* 2025;15(3):427–434. <https://doi.org/10.4103/mgr.MED-GASRES-D-24-00107>
37. Загайная Е. Э., Копылов Ф. Ю., Глазачев О. С., Дудник Е. Н., Быкова А. А., Тутер Д. С. и др. Качество жизни пациентов со стабильной стенокардией напряжения при применении интервальных гипоксических-гипероксических тренировок. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* 2016;9(3):21–27. <https://doi.org/10.17116/kardio20169321-27>
38. Uzun A.B., Nedelcu A.D., Stanciu L.E., Iliescu M.G., Tofolean I.D. The Impact of Intermittent Hypoxia-Hyperoxia Therapy on Cardiovascular and Respiratory Parameters. *Journal ARS Medica Tomitana.* 2023;1(29):18-24. <https://doi.org/10.2478/arsm-2023-0004>
39. Zebrowska A., Nowak-Lis A., Nowak Z., Hall B. Normobaric hypoxia and exercise training effects on cardiac biomarkers, left ventricular function and aerobic performance in patients after myocardial infarction. *European Heart Journal.* 2023;44(Suppl 2). <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad655.2397>

## References:

1. Sitnikova MY, Lyasnikova EA, Yurchenko AV, Trukshina MA, Libis RA, Kondratenko VY, et al. [Results of Russian Hospital Chronic Heart Failure Registry in Three Subjects of Russian Federation]. *Kardiologiia.* 2015;55(10):5–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.18565/cardio.2015.10.5-13>
2. Vedin O, Lam CSP, Koh AS, Benson L, Teng THK, Tay WT, et al. Significance of Ischemic Heart Disease in Patients With Heart Failure and Preserved, Midrange, and Reduced Ejection Fraction: A Nationwide Cohort Study. *Circ Heart Fail.* 2017;10(6):e003875. <https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.117.003875>
3. Dokainish H, Teo K, Zhu J, Roy A, AlHabib KF, ElSayed A, et al. Global mortality variations in patients with heart failure: results from the International Congestive Heart Failure (INTER-CHF) prospective cohort study. *Lancet Glob Health.* 2017;5(7):e665–e672. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(17\)30196-1](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30196-1)
4. GBD 2017 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet.* 2018;392(10159):1789–1858. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32279-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32279-7)
5. Virani SS, Alonso A, Aparicio HJ, Benjamin EJ, Bittencourt MS, Callaway CW, et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2021 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation.* 2021;143(8):e254–e743. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000950>
6. Popa IP, Haba MŞC, Mărănducă MA, Tănase DM, Şerban DN, Şerban LI, et al. Modern Approaches for the Treatment of Heart Failure: Recent Advances and Future Perspectives. *Pharmaceutics.* 2022;14(9):1964. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14091964>
7. Fomin IV. Chronic heart failure in Russian Federation: what do we know and what to do. *Russian Journal of Cardiology.* 2016;(8):7–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2016-8-7-13>
8. Russian Society of Cardiology (RSC). 2020 Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology.* 2020;25(11):4083. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4083>
9. Drapkina OM, Boytsov SA, Omelyanovskiy VV, Kontsevaya AV, Loukianov MM, Ignatieva VI, et al. Socio-economic impact of heart failure in Russia. *Russian Journal of Cardiology.* 2021;26(6):4490. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4490>
10. Gioeva ZM, Bogdanov AR, Zaletova TS, Bogdanova AA. Obesity as a Risk Factor for Chronic Heart Failure: A Review of the Literature. *Doctor.Ru.* 2017;10(139):21–25. (In Russ.).
11. Pelliccia A, Sharma S, Gati S, Bäck M, Börjesson M, Caselli S, et al. 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur Heart J.* 2021;42(1):17–96. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa605>
12. Packer M, Anker SD, Butler J, Filippatos G, Ferreira JP, Pocock SJ, et al. Empagliflozin in Patients With Heart Failure, Reduced Ejection Fraction, and Volume Overload: EMPEROR-Reduced Trial. *J Am Coll Cardiol.* 2021;77(11):1381–1392. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.01.033>
13. You G, Xie J, Tong W, Zhao Sh. The new perspective of cardiac exercise rehabilitation: based on integrative physiology. *Front Physiol.* 2025;16:1651589. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1651589>
14. Halpin SJ, McIvor C, Whyatt G, Adams A, Harvey O, McLean L, et al. Postdischarge symptoms and rehabilitation needs in survivors of COVID-19 infection: A cross-sectional evaluation. *J. Med. Virol.* 2021;93(2):1013–1022. <https://doi.org/10.1002/jmv.26368>
15. Vladimirskiy VE, Bobylev YuM. Rehabilitation of patients with chronic heart failure: opportunities and unresolved issues. 2021;4:85–103 (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/pmj38485%103>
16. Writing Committee Members; ACC/AHA Joint Committee Members. 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the Management of Heart Failure. *J Card Fail.* 2022;28(5):e1–e167. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2022.02.010>
17. Heidenreich PA, Bozkurt B, Aguilar D, Allen LA, Byun JJ, Colvin MM, et al. 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the Management of Heart Failure: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol.* 2022;79(17):e263–e421. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.12.012>
18. Glazachev OS, Kryzhanovskaya SY, Zapara MA, Dudnik EN, Samart-

- seva VG, Susta D. Safety and Efficacy of Intermittent Hypoxia Conditioning as a New Rehabilitation/ Secondary Prevention Strategy for Patients with Cardiovascular Diseases: A Systematic Review and Meta-analysis. *Curr Cardiol Rev.* 2021;17(6):e051121193317. <https://doi.org/10.2174/1573403X17666210514005235>
19. Larina VN, Akhmatova FD, Arakelov SE, Mokhov AE, Doronina IM, Denisova NN. [Modern strategies for cardiac rehabilitation after myocardial infarction and percutaneous coronary intervention]. *Kardiologiya.* 2020;60(3):111–118. (Russ.). <https://doi.org/10.18087/cardi.2020.3.n546>
  20. Zaree A, Dev S, Yaseen Khan I, Arain M, Rasool S, Khalid Rana MA, et al. Cardiac Rehabilitation in the Modern Era: Optimizing Recovery and Reducing Recurrence. *Cureus.* 2023;15(9):e46006. <https://doi.org/10.7759/cureus.46006>
  21. Glazachev OS, Lyamina NP, Spirina GK. Intermittent hypoxic conditioning: experience and potential in cardiac rehabilitation programs. *Russian Journal of Cardiology.* 2021;26(5):4426. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4426>
  22. Athmuri DN, Bhattacharyya J, Bhatnagar N, Shiekh PA. Alleviating hypoxia and oxidative stress for treatment of cardiovascular diseases: a biomaterials perspective. *J Mater Chem B.* 2024;12(41):10490–10515. <https://doi.org/10.1039/d4tb01126k>
  23. Uzun AB, Iliescu MG, Stanciu LE, Ionescu EV, Ungur RA, Ciortea VM, et al. Effectiveness of Intermittent Hypoxia-Hyperoxia Therapy in Different Pathologies with Possible Metabolic Implications. *Metabolites.* 2023;13(2):181. <https://doi.org/10.3390/metabo13020181>
  24. Glazachev O, Kopylov P, Susta D, Dudnik E, Zagaynaya E. Adaptations following an intermittent hypoxia-hyperoxia training in coronary artery disease patients: a controlled study. *Clin Cardiol.* 2017;40(6):370–376. <https://doi.org/10.1002/clc.22670>
  25. Sasidharan R, Schippers JHM, Schmidt RR. Redox and low-oxygen stress: signal integration and interplay. *Plant Physiol.* 2021;186(1):66–78. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab081>
  26. Yang C, Zhong ZF, Wang SP, Vong CT, Yu B, Wang YT. HIF-1: structure, biology and natural modulators. *Chin J Nat Med.* 2021;19(7):521–527. [https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(21\)60051-1](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(21)60051-1)
  27. Pugh CW, Ratcliffe PJ. New horizons in hypoxia signaling pathways. *Exp Cell Res.* 2017;356(2):116–121. <https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2017.03.008>
  28. Hadanny A, Efrati S. The hyperoxic-hypoxic paradox. *Biomolecules.* 2020;10(6):958. <https://doi.org/10.3390/biom10060958>
  29. Bestavashvili A, Glazachev O, Bestavashvili A, Suvorov A, Zhang Y, Zhang X et al. Intermittent Hypoxic-Hyperoxic Exposures Effects in Patients with Metabolic Syndrome: Correction of Cardiovascular and Metabolic Profile. *Biomedicines.* 2022;10(3):566. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10030566>
  30. Bayer U, Likar R, Pinter G, Stettner H, Demschar S, Trummer B, et al. Effects of intermittent hypoxia-hyperoxia on mobility and perceived health in geriatric patients performing a multimodal training intervention: a randomized controlled trial. *BMC Geriatr.* 2019;19(1):167. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1184-1>
  31. Saharchuk AY, Egle AP, Chereneva LA, Lebedeva NB. Effects of re-oxy therapy in patients who have undergone coronary artery bypass surgery. *XIII Eurasian Congress of Cardiologists. Abstracts.* 2025;65. (In Russ.). [https://doi.org/10.38109/ECC\\_2025](https://doi.org/10.38109/ECC_2025)
  32. Serebrovskaya TV, Xi L. Intermittent hypoxia training as non-pharmacologic therapy for cardiovascular diseases: Practical analysis on methods and equipment. *Exp Biol Med (Maywood).* 2016;241(15):1708–1723. <https://doi.org/10.1177/1535370216657614>
  33. Tuter DS, Kopylov PY, Syrkin AL, Glazachev OS, Komarov RN, Katkov AI, et al. Intermittent systemic hypoxic-hyperoxic training for myocardial protection in patients undergoing coronary artery bypass surgery: first results from a single-centre, randomised controlled trial. *Open Heart.* 2018;5:e000891. <https://doi.org/10.1136/openhrt-2018-000891>
  34. Doehner W, Fischer A, Alimi B, Muhar J, Springer J, Altmann C, et al. Intermittent Hypoxic-Hyperoxic Training During Inpatient Rehabilitation Improves Exercise Capacity and Functional Outcome in Patients With Long Covid: Results of a Controlled Clinical Pilot Trial. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2024;15(6):2781–2791. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13628>
  35. Oynotkinova OSh, Matskeplishvili ST, Maslennikova OM, Yershov AA. Comprehensive Approaches to the Correction of Cardiovascular Parameters and Mitochondrial Dysfunction in Metabolic Syndrome by the Method of Hypoxic-Hyperoxic Training. *Effective Pharmacotherapy.* 2024;20(26):14–23. (In Russ.). <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2024-20-26-14-23>
  36. Tian M, Du W, Yang S, Liao Q, Guo F, Li S. Application and progress of hyperbaric oxygen therapy in cardiovascular diseases. *Med Gas Res.* 2025;15(3):427–434. <https://doi.org/10.4103/mgr.MEDGASRES-D-24-00107>
  37. Zagaïnaia E, Kopylov FIu, Glazachev OS, Dudnik EN, Bykova AA, Tuter DS, et al. Quality of life in patients with stable angina in application of intermittent hypoxic-hyperoxic training. *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery.* 2016;9(3):21–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/kardio20169321-27>
  38. Uzun AB, Nedelcu AD, Stanciu LE, Iliescu MG, Tofolean ID. The Impact of Intermittent Hypoxia-Hyperoxia Therapy on Cardiovascular and Respiratory Parameters. *Journal ARS Medica Tomitana.* 2023;1(29):18–24. <https://doi.org/10.2478/arsm-2023-0004>
  39. Zebrowska A, Nowak-Lis A, Nowak Z, Hall B. Normobaric hypoxia and exercise training effects on cardiac biomarkers, left ventricular function and aerobic performance in patients after myocardial infarction. *European Heart Journal.* 2023;44(Suppl 2). <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad655.2397>

## Сведения об авторах

**Сахарчук Алексей Юрьевич**, ординатор федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний».

**ORCID:** 0009-0007-2788-0748

**Лебедева Наталья Борисовна**, доктор медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории реабилитации федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний».

**ORCID:** 0000-0003-2769-3807

## Authors

**Dr. Alexey Yu. Sakharchuk**, MD, cardiology resident, Research Institute of Complex Issues of Cardiovascular Diseases.

**ORCID:** 0009-0007-2788-0748

**Dr. Nataliya B. Lebedeva**, MD, Associate Professor, Leading Researcher, Laboratory of Rehabilitation, Research Institute for Complex Problems of Cardiovascular Diseases.

**ORCID:** 0000-0003-2769-3807