

Исследования адаптации к гипокси-гипероксической нагрузке спортсменов-паралимпийцев: сравнительное рандомизированное исследование

 Горелик В.В.^{1,*},  Филиппова С.Н.²,  Сментына О.С.³,  Ревчук Л.С.³,  Давыдова Я.В.³

¹ Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия

² Российский государственный социальный университет, Москва, Россия

³ Медицинский реабилитационный центр «Сергиевские минеральные воды» Федерального медико-биологического агентства, Серноводск, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Публикация посвящена изучению влияния метода интервальной гипокси-гипероксической тренировки, реализованного в программах реабилитационного воздействия на спортсменов-паралимпийцев с поражением опорно-двигательного аппарата. Восстанавливающее воздействие индивидуально дозированной гипоксической и гипероксической нагрузки направлено на активизацию деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем организма для транспорта кислорода и обеспечения клеточно-митохондриальных этапов энергетического метаболизма.

ЦЕЛЬ. Определение эффективности реабилитационного применения гипокси-гипероксического метода для спортсменов-паралимпийцев.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Проведено обследование 30 мужчин-паралимпийцев в возрасте от 30 до 35 лет с нарушением двигательных функций вследствие параличей и парезов. Исследование проводилось в Медицинском реабилитационном центре «Сергиевские минеральные воды» в течение 2023 г. Были сформированы 2 группы: основная группа (ОГ) и контрольная группа (КГ) по 15 человек в каждой, имеющие одинаковые нозологические и половозрастные показатели. Спортсмены-паралимпийцы с поражением опорно-двигательного аппарата выступали в следующих дисциплинах: бочка — 10 мужчин-паралимпийцев (33 %), бадминтон — 8 мужчин-паралимпийцев (27 %), спортивное ориентирование — 12 мужчин-паралимпийцев (40 %). Программа реабилитации в ОГ включала проведение дозированной гипоксической и гипероксической нагрузки для повышения функциональных возможностей организма.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В конце исследования установлено, что увеличение времени общей продолжительности гипероксической фазы (в минутах) в одном цикле воздействия в ОГ в начале исследования составляло $14,47 \pm 0,35$, в конце исследования — $17,49 \pm 0,26$; уменьшается коррекционное время гипоксии (мин) с $7,06 \pm 0,40$ до $6,28 \pm 0,01$. Был увеличен минимальный показатель насыщения крови кислородом SpO_2 , среднее значение в начале исследования составляло 81 %, в конце — 85 %. Также был увеличен максимальный показатель насыщения крови кислородом SpO_2 , среднее значение в начале исследования составляло 96 %, в конце исследования — 100 %. Была уменьшена минимальная частота пульса, среднее значение за период процедуры изменилось с 71 уд/мин до 62 уд/мин.

ОБСУЖДЕНИЕ. Паралимпийцы в ОГ, получающие тренирующие воздействия на организм за счет варьирования содержания кислорода в дыхательной смеси, имеют повышенные адаптационные резервы. Таким образом, проведенное исследование показывает, что метод интервальной гипокси-гипероксической тренировки позволяет повысить тренировочный эффект, улучшить функциональное состояние организма спортсменов-паралимпийцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В проведенном исследовании по изучению эффективности влияния чередования гипоксического и гипероксического воздействия на организм паралимпийцев установлено положительное действие метода. После прохождения курса интервальной гипокси-гипероксической тренировки наблюдалось улучшение функциональных перестроек кардиореспираторной системы в ОГ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: паралимпийцы, гипокси-гипероксическая тренировка, сниженное содержание кислорода

Для цитирования / For citation: Горелик В.В., Филиппова С.Н., Сментына О.С., Ревчук Л.С., Давыдова Я.В. Исследования адаптации к гипокси-гипероксической нагрузке спортсменов-паралимпийцев: сравнительное рандомизированное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(1):65–74. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-1-65-74> [Gorelik V.V., Filippova S.N., Smentyna O.S., Revchuk L.S., Davydova Ya.V. Studies of Adaptation to Hypoxic-Hyperoxic Stress in Paralympic Athletes: A Comparative Randomized Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(1):65–74. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-1-65-74> (In Russ.).]

* Для корреспонденции: Горелик Виктор Владимирович, E-mail: lecgoi@list.ru

Статья получена: 17.10.2025

Статья принята к печати: 18.12.2025

Статья опубликована: 25.02.2026

Studies of Adaptation to Hypoxic-Hyperoxic Stress in Paralympic Athletes: A Comparative Randomized Study

 Victor V. Gorelik^{1,*},  Svetlana N. Filippova²,  Oleg S. Smentyna³,  Liliana S. Revchuk³,
 Yana V. Davydova³

¹ Togliatti State University, Togliatti, Russia

² Moscow State Academy of Physical Education, Moscow, Russia

³ Sergiyevsk Mineral Waters Medical Rehabilitation Center of the Federal Medical and Biological Agency, Sernovodsk, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. The present publication examines the effects of interval hypoxic-hyperoxic training, implemented in rehabilitation programmes for Paralympic athletes with musculoskeletal disorders. The restorative effect of individually dosed hypoxic and hyperoxygenic load is aimed at activating the cardiovascular and respiratory systems of the body to transport oxygen and maintain cellular-mitochondrial stages of energy metabolism.

AIM. To determine the effectiveness of the hypoxic-hyperoxic method for rehabilitation in Paralympic athletes.

MATERIALS AND METHODS. A total of 30 male Paralympic athletes, aged between 30 and 35 years and exhibiting motor impairments due to paralysis and paresis, were examined. The study was conducted at Sergiyevsk Mineral Waters Medical Rehabilitation Centre in 2023. The participants were divided into two groups: the main group (MG) and the control group (CG). Each group consisted of 15 individuals with similar nosological, gender, and age characteristics. Paralympic athletes with musculoskeletal disorders competed in the following disciplines: boccia — 10 male Paralympians (33 %), badminton — 8 male Paralympians (27 %), orienteering — 12 Paralympians (40 %). The rehabilitation programme in the MG included dosed hypoxic and hyperoxic loads to improve the functional capabilities of the body.

RESULTS. The findings demonstrated that the increase in the total duration of the hyperoxic phase (in minutes) within a single cycle of exposure in the MG at the beginning of the study was 14.47 ± 0.35 , while at the end of the study this figure increased to 17.49 ± 0.26 . Furthermore, the correction time for hypoxia (in minutes) decreased from 7.06 ± 0.40 to 6.28 ± 0.01 . In addition, the minimum indicator of blood oxygen saturation, SpO_2 , exhibited an increase, with the average value at the beginning of the study being 81 %, and increasing to 85 % at the end of the study. Similarly, the maximum indicator of blood oxygen saturation, SpO_2 , also increased, with the average value at the beginning of the study being 96 %, and increasing to 100 % at the end of the study. Moreover, the minimum pulse rate decreased, with the average value for the duration of the procedure decreasing from 71 beats per minute to 62 beats per minute.

DISCUSSION. It is evident that Paralympic athletes in the main group, who received training effects on the body by varying the oxygen content of the breathing mixture, appear to have increased adaptive reserves. The study demonstrates that the hypoxic-hyperoxic interval training method can enhance the training effect and improve the functional state of Paralympic athletes.

CONCLUSION. The findings of the study, which examined the effectiveness of alternating hypoxic and hyperoxic conditions on the bodies of Paralympic athletes, established the positive effects of this method. After completing a course of interval hypoxic-hyperoxic training, the main group demonstrated improved functional changes in the cardiorespiratory system.

KEYWORDS: Paralympians, hypoxic-hyperoxic training, reduced oxygen content

For citation: Gorelik V.V., Filippova S.N., Smentyna O.S., Revchuk L.S., Davydova Ya.V. Studies of Adaptation to Hypoxic-Hyperoxic Stress in Paralympic Athletes: A Comparative Randomized Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(1):65–74. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-1-65-74> (In Russ.).

* **For correspondence:** Victor V. Gorelik, E-mail: lecgoy@list.ru

Received: 17.10.2025

Accepted: 18.12.2025

Published: 25.02.2026

ВВЕДЕНИЕ

Разнообразие патогенетических факторов вызывает большое число заболеваний у спортсменов-паралимпийцев. Эти особенности создают трудности для медицинской реабилитации, преодоление которых связано с усилением индивидуального подхода в подборе восстановительных мероприятий [1–3]. Можно считать, что нозологический комплекс заболевания и его динамические изменения становятся ведущим детерминантом индивидуальных особенностей паралимпийцев, тогда как физические, психофизические, психические и социально-психологические индивидуальные различия становятся менее значимыми [4, 5].

Возрастание распространенности соматических заболеваний и осложненных соматических проявлений,

инфекционных патологий, высокий уровень транспортного и техногенного травматизма в стране, достигающий 8–10 % численности населения, приводит к тому, что физическая медицинская реабилитация для паралимпийцев признается актуальной [6].

В реабилитации идет постоянный поиск методик, повышающих функциональное состояние организма спортсменов-паралимпийцев. В связи с этим методологически оправданно и допустимо применение метода интервальной гипоксии-гипероксической тренировки в комплексном процессе медицинской реабилитации паралимпийцев [7–9]. У паралимпийцев различных нозологических групп восстановление организма после высокоинтенсивных тренировочных нагрузок замедленно по разным причинам, в связи с чем повышена

роль индивидуального дозирования гипоксических и гипероксических нагрузок [10, 11]. Повторяющееся воздействие кратковременных, контролируемых, неинвазивных гипоксических и гипероксических стимулов приводит к активации адаптационных механизмов и восстановлению за счет активизации нейрорегуляторных, функциональных, метаболических и энергосинтетических гомеостатических механизмов организма спортсменов [12–14].

ЦЕЛЬ

Определение эффективности реабилитационного применения гипокси-гипероксического метода для спортсменов-паралимпийцев.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выполнение работы одобрено этическим комитетом Медицинского реабилитационного центра «Сергиевские минеральные воды» ФМБА России (Протокол № 5 от 10.12.2022).

Проведено обследование 30 мужчин-паралимпийцев (100 %) в возрасте от 30 до 35 лет с нарушением двигательных функций в виде параличей и парезов вследствие детского церебрального паралича (12 человек, 40 %), травматической болезни спинного мозга (18 человек, 60 %).

Спортсмены-паралимпийцы с поражением опорно-двигательного аппарата выступали в следующих дисциплинах: бочка — 10 мужчин-паралимпийцев (33 %), бадминтон — 8 мужчин-паралимпийцев (27 %), спортивное ориентирование — 12 мужчин-паралимпийцев (40 %). Спортсмены-паралимпийцы были однородны по функциональным показателям по предложенным видам спорта.

Исследование выполнено в Медицинском реабилитационном центре «Сергиевские минеральные воды» в 2023 г. Были сформированы 2 группы: основная группа (ОГ) и контрольная группа (КГ) по 15 паралимпийцев в каждой группе, имеющих одинаковые нозологические и половозрастные показатели.

Курс лечения составлял 14 дней. Обе группы по программе реабилитации получали лечебную физкультуру продолжительностью 30 минут, № 7, роботизированную механотерапию № 9, массаж по 15 минут, № 7. Из физиотерапевтических процедур проводились: магнитотерапия № 6, лазеротерапия № 6, чрескожная электронейростимуляция № 6. Применялись сероводородные общие ванны температурой 36–37 °С, продолжительностью 8–15 минут, 6 процедур через день, пелоидотерапия иловой сульфидной грязью температурой 38–40 °С, продолжительностью 15 минут, через день, № 5.

Программа реабилитации в ОГ включала проведение гипокси-гипероксической тренировки для повышения функциональных возможностей организма. С помощью аппарата ReOxy (Bitmos, Германия) в первый день проводили тестирование длительностью 10 минут, затем — лечебные гипокси-гипероксические тренировки, длившиеся 30 минут. Всего на курс реабилитации приходилось 8 процедур гипокси-гипероксической тренировки в ОГ. В КГ выполняли тестирование длительностью 10 минут в первый день, а также 1 процедуру в начале и в конце лечения для оценки кардиореспираторной системы.

Метод ReOxy

После предварительного тестирования уровня функциональных возможностей организма пациента аппарат ReOxy автоматически определял зоны максимальной эффективности, рассчитывал индивидуальные параметры нагрузки и поддерживал их на протяжении всей тренировки (процедуры). Каждому пациенту проводился гипоксический тест для оценки индивидуальной реакции на гипоксию. Минимальное безопасное значение SpO_2 составляет 82 %, а максимально допустимое увеличение частоты сердечных сокращений во время тренировки составляет +50 % от исходного значения. При достижении этих параметров происходил автоматический переход на подачу гипероксической газовой смеси (35–40 % кислорода) до достижения уровня $SpO_2 \times 100$ %. Во время каждой тренировки пациенту подавалась гипоксическая газовая смесь в прерывистом режиме, чередуя с подачей гипероксической газовой смеси. В среднем каждая тренировка (процедура) включала в себя 6 вышеперечисленных циклов. Общее время ингаляции гипоксической газовой смесью за одну процедуру составило 20–30 минут [3].

Диагностика параметров сердечно-сосудистой и дыхательной систем проводилась в процессе занятий в начале и в конце реабилитационных мероприятий. Гипокси-гипероксическая терапия приводит к активизации процессов адаптации к тренировочным нагрузкам, повышению физической работоспособности, стрессоустойчивости паралимпийцев. Восстанавливающее воздействие направлено на активизацию сердечно-сосудистой и дыхательной систем организма. Эти системы взаимосвязаны между собой: кардиореспираторная система газообмена и газотранспорта углекислого газа, как побочного продукта метаболизма во внешнюю среду, и вдыхаемого кислорода к тканям и клеткам организма для обеспечения этапов энергетического метаболизма. Активация газообмена играет ведущую роль в повышении продукции аденозинтрифосфорной кислоты с целью интенсификации восстановительных процессов организма и мышечного сокращения при тренировочных нагрузках паралимпийцев.

Статистическая обработка результатов осуществлялась при помощи пакета статистических программ: IBM SPSS Statistics версия 26.0. Был использован одновыборочный критерий Колмогорова — Смирнова для выявления нормальности распределения. Для достоверности различий использовался *t*-критерий Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Динамика показателей при воздействии гипоксических и гипероксических тренировок в ОГ приведена в таблице 1.

Можно видеть, что за период реабилитации методом гипокси-гипероксической тренировки общая и средняя продолжительность гипероксической фазы возросла (общая — в диапазоне 14,47–17,49 минуты, средняя — с 3,41 до 4,27 минуты), а коррекционное время гипоксии имеет тенденцию к снижению (рис. 1–3). Поскольку величина этих воздействий выбирается самим аппаратом ReOxy на основе SRT-технологии с учетом индивидуальных показателей сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека, то полученные данные указывают на улучшение их функциональных возмож-

Таблица 1. Динамика показателей при воздействии гипокси-гипероксических тренировок в основной группе
Table 1. Dynamics of indicators under the influence of hypoxi-hyperoxic training in the main group

Показатели / Indicators	ОГ в начале исследования / MG at the beginning of the study (n = 15)		ОГ в конце исследования / MG at the end of the study (n = 15)		p
	M	m	M	m	
Общая продолжительность гипероксической фазы в одном цикле воздействия, мин / Total duration of the hypoxic phase in per one exposure cycle, min	14,47	0,3506	17,49	0,2673	0,001
Коррекционное время гипоксии, мин / Correction time of hypoxia, min	7,06	0,4073	6,28	0,0113	0,001
Средняя продолжительность гипероксической фазы в течение процедуры, мин / Mean duration of the hypoxic phase during the procedure, min	3,41	0,0241	4,27	0,0120	0,001
Минимальный SpO₂, среднее значение (%) / Minimum SpO₂, mean value (%)	81	0,5936	85	0,5560	0,001
Максимальный SpO₂, среднее значение (%) / Maximum SpO₂, mean value (%)	96	0,6324	100	0,1181	0,001
Частота пульса до процедуры, уд/мин / Heart rate before procedure, BPM	78	0,3380	66	0,3651	0,001
Минимальная частота пульса, среднее значение за период процедуры, уд/мин / Minimum heart rate, mean value over the procedure period, BPM	71	0,2182	62	0,3157	0,001

Примечание: SpO₂ — показатель насыщения крови кислородом, ОГ — основная группа, M — среднее арифметическое, m — ошибка среднего арифметического.

Note: SpO₂ — an indicator of blood oxygen saturation, MG — the main group, M — the arithmetic mean, m — the error of the arithmetic mean.

ностей. Возрастание активности функциональных возможностей приведет к улучшению адаптационного потенциала организма, поскольку кардиореспираторная система играет ведущую роль в определении приспособительных перестроек организма человека.

Частота пульса у паралимпийцев в ОГ в начале реабилитации снизилась на 12 уд/мин, а средние минимальные значения в период гипоксической тренировки — на 9 уд/мин. Несмотря на то что выявленные изменения наблюдались в диапазоне значений пульсовой нормы, урежение пульса указывает на рост экономизации функции сердечной мышцы. Тенденция к урежению частоты сердечных сокращений (функциональная брадикардия) наблюдается у спортсменов и свидетельствует о возрастании их физической подготовленности и выносливости. По аналогии у паралимпийцев урежение частоты сердечных сокращений под влиянием гипоксической тренировки указывает на благоприятные изменения сократительных параметров сердечной мышцы за счет повышения энергоснабжения кардиомиоцитов. При этом показатели насыщения крови кислородом изменились незначительно (на 4 %) и не достигли показателей нормы для здорового человека. Это можно объяснить тем, что гипоксическая тренировка направлена

на улучшение энергетического метаболизма, тогда как ее влияние на показатели гемоглобина оказывается менее выраженным (рис. 1–3).

Анализ динамики данных в КГ, приведенных в таблице 2, рисунках 1–3, показывает ту же направленность функциональных перестроек кардиореспираторной системы, как и в ОГ. Однако по всем параметрам отмечены небольшие изменения, которые не достигают уровней перестроек, наблюдаемых под влиянием реабилитационного метода интервальной гипокси-гипероксической тренировки у ОГ.

Динамика показателей при воздействии гипоксических и гипероксических тренировок в ОГ и КГ на конечном этапе исследования приведена в таблице 3. Установлены достоверные различия между группами, повышение функциональных перестроек кардиореспираторной системы в ОГ и эффективность применения гипокси-гипероксической тренировки.

В исследовании выявлено возрастание функциональных возможностей кардиореспираторной системы у паралимпийцев в ОГ, получающих тренирующие воздействия на организм за счет варьирования содержания кислорода в дыхательной смеси, что закономерно приводило к повышению у них адаптационных резервов [15].

Таблица 2. Динамика показателей на начальном и конечном этапе исследования в контрольной группе
Table 2. Dynamics of indicators at the initial and final stages of the study in the control group

Показатели / Indicators	КГ в начале исследования / CG at the beginning of the study (n = 15)		КГ в конце исследования / CG at the end of the study (n = 15)		p
	M	m	M	m	
Общая продолжительность гипероксической фазы, мин / Total duration of the hyperoxic phase per one exposure cycle, min	14,41	0,0138	15,49	0,0305	0,001
Коррекционное время гипоксии, мин / Correction time of hypoxia, min	7,07	0,0383	7,05	0,0332	0,018
Средняя продолжительность гипероксической фазы, мин / Mean duration of the hyperoxic phase during the procedure, min	3,41	0,0264	3,48	0,0089	0,012
Минимальный SpO ₂ , среднее значение (%) / Minimum SpO ₂ , mean value (%)	81	0,4727	82	0,4140	0,004
Максимальный SpO ₂ , среднее значение (%) / Maximum SpO ₂ , mean value (%)	96,4	0,3887	97,2	0,3445	0,001
Частота пульса до процедуры, уд/мин / Heart rate before the procedure, BPM	77	0,4680	76,4	0,4007	0,015
Минимальная частота пульса, среднее значение за период процедуры, уд/мин / Minimum heart rate, mean value over the procedure period, BPM	70	0,2108	69	0,4680	0,023

Примечание: SpO₂ — показатель насыщения крови кислородом, КГ — контрольная группа, М — среднее арифметическое, m — ошибка среднего арифметического.
Note: SpO₂ — an indicator of blood oxygen saturation, CG — the control group, M — the arithmetic mean, m — the error of the arithmetic mean.

Таблица 3. Сравнение показателей при воздействии гипоксии-гипероксических тренировок в основной группе и контрольной группе
Table 3. Comparison of indicators under the influence of hypoxic-hyperoxic training in the main group and the control group

Показатели / Indicators	ОГ (n = 15) и КГ (n = 15) в начале исследования, ст. св. / MG (n = 15) and CG (n = 15) at the beginning of the study, stat. sig.		ОГ (n = 15) и КГ (n = 15) в конце исследования, ст. св. / MG (n = 15) and CG (n = 15) at the end of the study, stat. sig.	
	t	p ≥ 0,05	t	p ≤ 0,05
Общая продолжительность гипероксической фазы в одном цикле воздействия, мин / Total duration of the hyperoxic phase per one exposure cycle, min	0,743	0,463	2,386	0,024
Коррекционное время гипоксии, мин / Correction time of hypoxia, min	-0,345	0,733	-4,013	0,000
Средняя продолжительность гипероксической фазы в течение процедуры, мин / Mean duration of the hyperoxic phase during the procedure, min	0,222	0,826	3,632	0,001
Минимальный SpO ₂ , среднее значение (%) / Minimum SpO ₂ , mean value (%)	0,277	0,784	2,648	0,013

VICTOR V. GORELIK ET AL. | ORIGINAL ARTICLE

Показатели / Indicators	ОГ (n = 15) и КГ (n = 15) в начале исследования, ст. св. / MG (n = 15) and CG (n = 15) at the beginning of the study, stat. sig.		ОГ (n = 15) и КГ (n = 15) в конце исследования, ст. св. / MG (n = 15) and CG (n = 15) at the end of the study, stat. sig.	
	t	p ≥ 0,05	t	p ≤ 0,05
Максимальный SpO ₂ , среднее значение (%) / Maximum SpO ₂ , mean value (%)	-0,475	0,638	2,538	0,017
Частота пульса до процедуры, уд/мин / Heart rate before the procedure, BPM	0,185	0,855	-2,375	0,025
Минимальная частота пульса, среднее значение за период процедуры, уд/мин / Minimum heart rate, mean value over the procedure period, BPM	0,367	0,716	-2,590	0,015

Примечание: SpO₂ — показатель насыщения крови кислородом, ОГ — основная группа, КГ — контрольная группа, М — среднее арифметическое, m — ошибка среднего арифметического.
Note: SpO₂ — an indicator of blood oxygen saturation, MG — the main group, CG — the control group, M — the arithmetic mean, m — the error of the arithmetic mean.

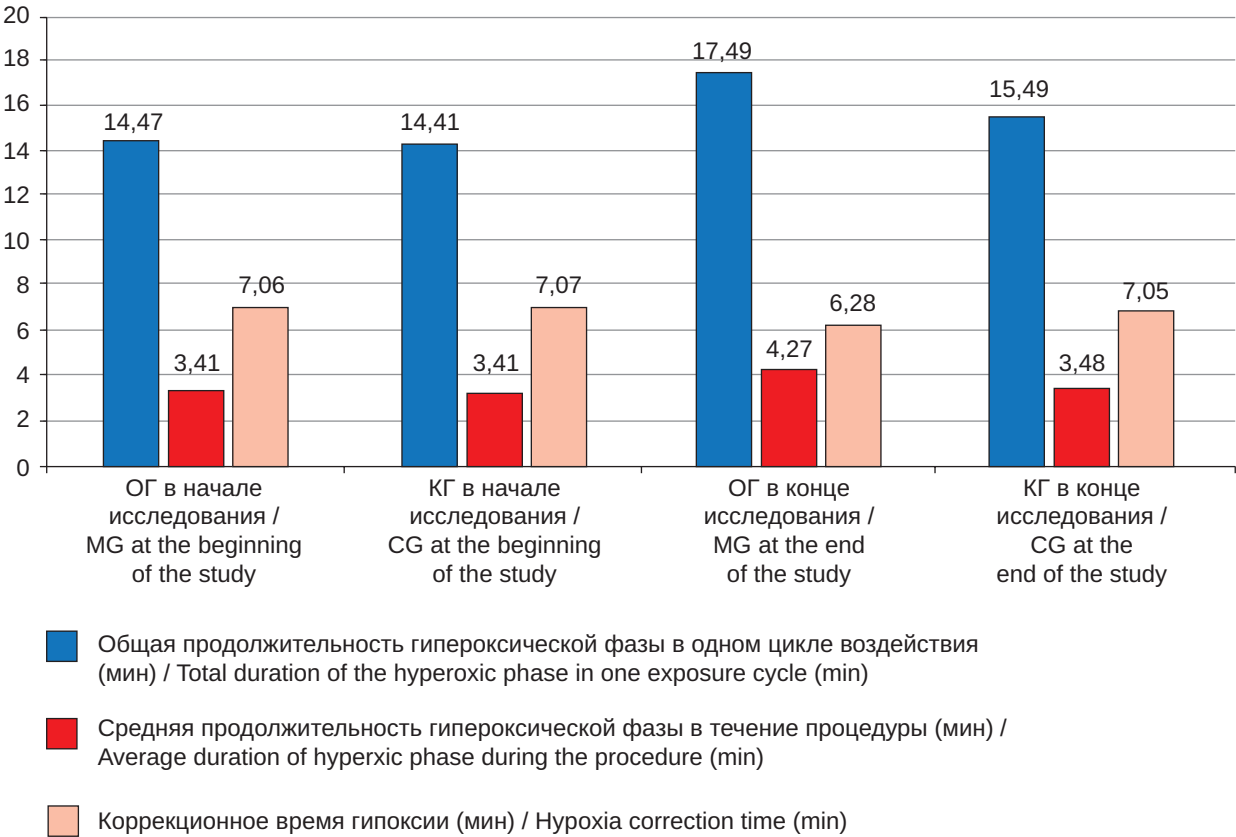


Рис. 1. Общая средняя продолжительность гипероксической фазы в одном цикле воздействия и коррекционное время гипоксии в основной группе и контрольной группе в начале и в конце исследования
Fig. 1. The total, mean duration of the hyperoxic phase per one exposure cycle and the correction time of hypoxia in the main group and the control group at the beginning and at the end of the study

В связи с этим углубленное изучение этого метода, в том числе за счет понимания его физиологических механизмов, будет способствовать его дальнейшему индивидуально направленному использованию, созданию новых протоколов и стандартов его применения при различных нозологиях у спортсменов и паралимпийцев различных специализаций и половозрастных групп. Это приведет к дифференциации и совершенствованию аппаратного обеспечения данного неинвазивного метода, который можно считать экологичным (природосообразным) как в реабилитации паралимпийцев, так и в оздоровлении утомленного человека в условиях мегаполисов и техногенной цивилизации [16].

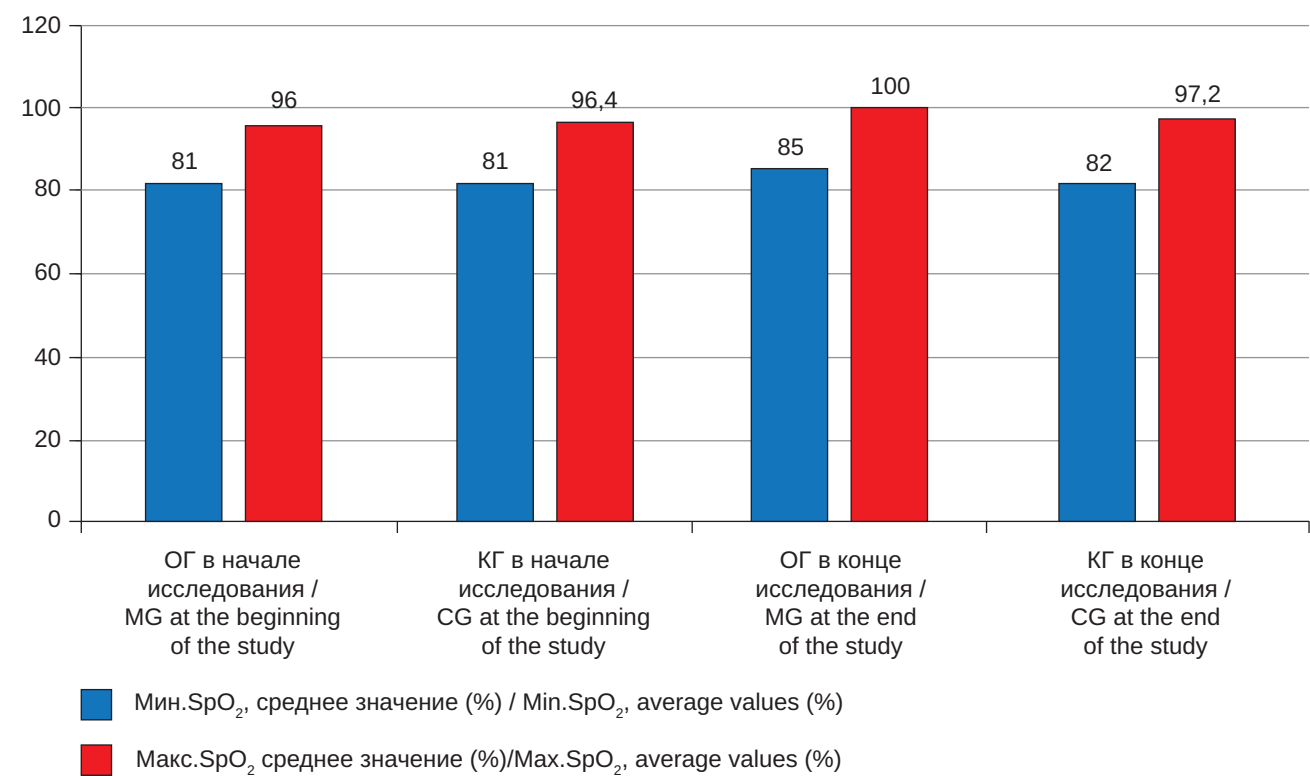


Рис. 2. Минимальный показатель SpO₂ и максимальный показатель SpO₂ в основной группе и контрольной группе в начале и в конце исследования
Fig. 2. The minimum SpO₂ index and the maximum SpO₂ index in the main group and the control group at the beginning and at the end of the study

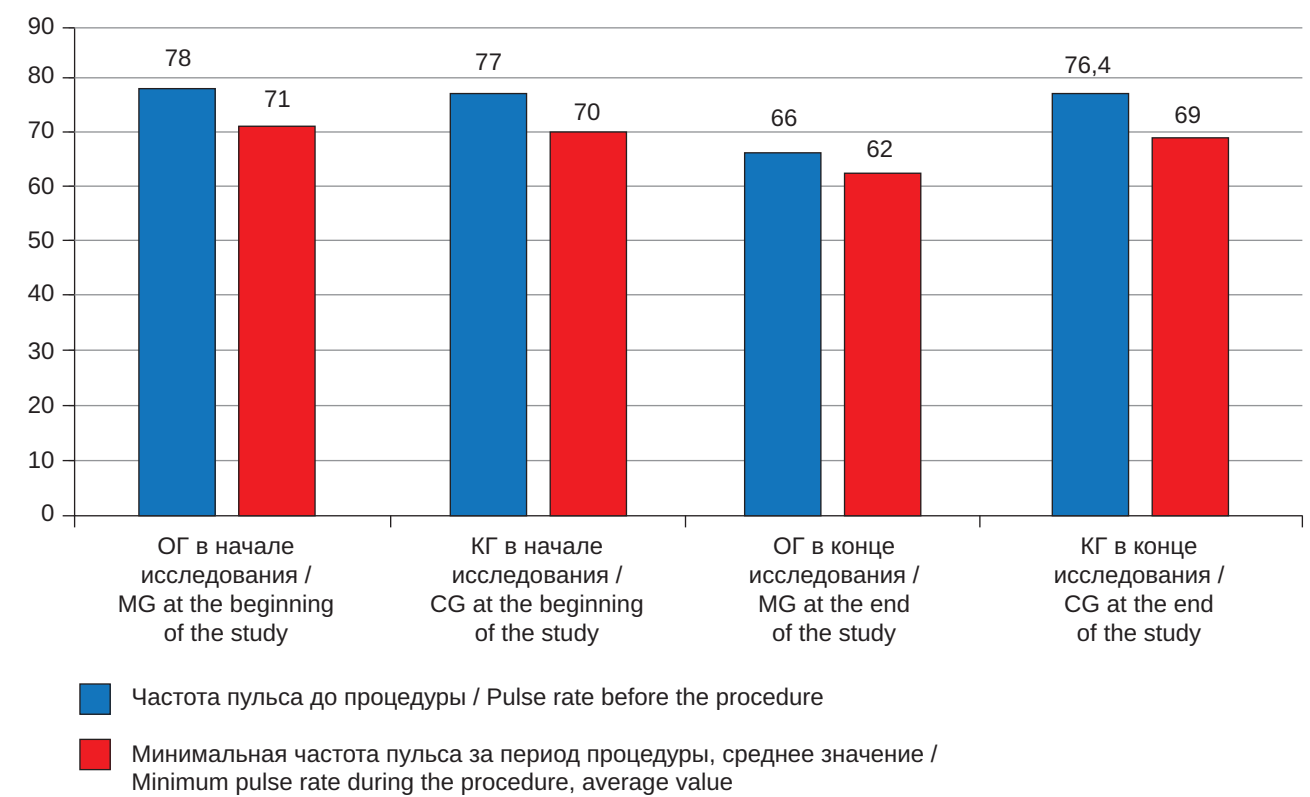


Рис. 3. Частота пульса до процедуры и минимальная частота пульса за период процедуры в основной группе и контрольной группе в начале и в конце исследования
Fig. 3. The pulse rate before the procedure and the minimum pulse rate during the procedure in the main group and the control group at the beginning and at the end of the study

ОБСУЖДЕНИЕ

В исследованиях Бочарова М.И. и соавт. отмечается, что умеренная интервальная нормобарическая гипоксия приводит к увеличению кислородной емкости крови, резервных возможностей энергетических систем, физической работоспособности, оказывается положительное терапевтическое влияние на дыхательную, сердечно-сосудистую, иммунную, метаболическую, костную и нервную системы.

В научных работах Kon M. et al. установлено влияние силовых тренировок в условиях системной гипоксии на мышечную адаптацию, которая, как известно, происходит после тренировок как с отягощениями, так и с упражнениями на выносливость. Результаты ученых показывают, что в дополнение к увеличению размера и силы мышц происходит и увеличение мышечной выносливости [17–19].

В исследованиях Levine B.D. выявлено влияние силовых тренировок в условиях системной гипоксии на капилляризацию мышц. Было отмечено, что тренировки на выносливость в условиях системной гипоксии вызывают большее увеличение плотности мышечных капилляров и соотношения капилляров к волокнам соответственно. В совокупности эти наблюдения показывают, что физические тренировки в условиях системной гипоксии могут усиливать ангиогенез в скелетных мышцах независимо от режима тренировки, что ведет к повышению функциональных перестроек кардиореспираторной системы [20].

Таким образом, проведенное исследование показывает, что метод интервальной гипоксии-гипероксической тренировки позволяет повысить тренировочный эффект, улучшить функциональное состояние организма спортсменов-паралимпийцев, ускорить процессы восстановления после тренировочной нагрузки, что позволит добиться лучших спортивных результатов на соревнованиях.

Совокупность полученных данных позволяет рекомендовать метод для более широкого применения в комплексных реабилитационных программах у данной нозологической группы паралимпийцев, а также позволяет расширять исследования применения данного метода при других нозологиях, для оздоровительных возможностей населения.

Ограничения исследования

Ограничения в выступлениях на соревнованиях происходили в случае обострения хронических заболеваний, острых респираторных заболеваний, когда имелись травмы, ушибы, переломы. Для паралимпийцев это означало потерю стабильной соревновательной практики на высшем уровне, которая являлась ключевым условием сохранения формы и роста спортивных результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведенном исследовании эффективности влияния чередования гипоксического и гипероксического воздействия на организм спортсменов-паралимпийцев в качестве реабилитирующего метода установлено положительное действие интервальной гипоксии-гипероксической тренировки.

В конце исследования выявлено, что увеличение времени общей продолжительности гипероксической фазы (в минутах) в одном цикле воздействия в ОГ в начале исследования составляло $14,47 \pm 0,35$, в конце исследования — $17,49 \pm 0,26$. Уменьшено коррекционное время гипоксии с $7,06 \pm 0,40$ минуты до $6,28 \pm 0,01$ минуты. Увеличен минимальный показатель насыщения крови кислородом SpO_2 , среднее значение в начале исследования составляло 81 %, в конце — 85 %. Также был увеличен максимальный показатель насыщения крови кислородом SpO_2 , среднее значение в начале исследования составляло 96 %, в конце исследования — 100 %. Была уменьшена минимальная частота пульса, среднее значение за период процедуры изменилось с 71 уд/мин до 62 уд/мин. Паралимпийцы в ОГ, получающие тренирующие воздействия на организм за счет варьирования содержания кислорода в дыхательной смеси, имеют повышенные адаптационные резервы. Анализ динамики данных в КГ показывает ту же направленность функциональных перестроек кардиореспираторной системы, как в ОГ. Однако по всем параметрам отмечены небольшие изменения, которые не достигают уровней перестроек, наблюдаемых под влиянием реабилитационного метода интервальной гипоксии-гипероксической тренировки, как у ОГ.

Жизненно важные адаптационные возможности у паралимпийцев находятся в состоянии прогрессирующего истощения под влиянием патологического процесса [5]. Поскольку адаптационный потенциал организма определяет не только приспособление к двигательным нагрузкам у паралимпийцев, занимающихся спортом, но и их активность в других сферах жизнедеятельности (обучение, профессия, семья, гражданская активность, отдых и путешествия), можно заключить, что улучшение физического и зависящего от него психического состояния у паралимпийцев приводит к общему улучшению качества жизни у этого контингента населения. В связи с таким интегральным влиянием данного метода на жизнедеятельность групп населения начало развиваться новое направление в реабилитологии — митохондриальная медицина.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что после прохождения курса интервальной гипоксии-гипероксической тренировки наблюдалось улучшение функциональных перестроек кардиореспираторной системы в ОГ.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Горелик Виктор Владимирович, кандидат биологических наук, доцент кафедры адаптивной физической культуры, спорта и туризма, Институт физической культуры и спорта, Тольяттинский государственный университет.

E-mail: lecgoy@list.ru;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8767-5200>

Филиппова Светлана Николаевна, доктор биологических наук, доцент, профессор, Российский государственный социальный университет.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3626-6372>

Сментына Олег Сергеевич, главный врач, Медицинский реабилитационный центр «Сергиевские минеральные воды» Федерального медико-биологического агентства.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1808-7842>

Ревчук Лилиана Степановна, кандидат медицинских наук, заместитель главного врача по медицинской части, Медицинский реабилитационный центр «Сергиевские минеральные воды» Федерального медико-биологического агентства.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2836-0158>

Давыдова Яна Владимировна, инструктор-методист по адаптивной физической культуре, Медицинский реабилитационный центр «Сергиевские минеральные воды» Федерального медико-биологического агентства.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2317-6706>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают свое авторство в соответствии с международными критериями ICMJE (все авторы внесли значительный вклад в концепцию, дизайн исследования и подготовку статьи, прочитали и одобрили окончательный вариант до публикации). Наибольший вклад распределен следующим образом: Горелик В.В. — научное обоснование, анализ данных; Филиппова С.Н. — проверка и редактирование рукописи; Сментына О.С. — курирование проекта; Ревчук Л.С. — обеспечение материалов для исследования, верификация данных; Давыдова Я.В. — проведение исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Viktor V. Gorelik, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Department of Adaptive Physical Education, Sports, and Tourism, Institute of Physical Education and Sports, Togliatti State University.

E-mail: lecgoy@list.ru;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8767-5200>

Svetlana N. Filippova, D.Sc. (Biol.), Docent, Professor, Russian State Social University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3626-6372>

Oleg S. Smentyna, Chief Physician, Sergievsky Mineral Waters Medical Rehabilitation Center of the Federal Medical and Biological Agency.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1808-7842>

Liliana S. Revchuk, Ph.D. (Med.), Deputy Chief Physician for Medical Affairs, Sergievsky Mineral Waters Medical Rehabilitation Center of the Federal Medical and Biological Agency.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2836-0158>

Yana V. Davydova, Instructor, Methodologist in Adaptive Physical Education, Sergievsky Mineral Waters Medical Rehabilitation Center of the Federal Medical and Biological Agency.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2317-6706>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors

Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическое утверждение. Авторы заявляют, что все процедуры, использованные в данной статье, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, а также Хельсинкской декларации в редакции 2013 г. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБУЗ «Медицинский реабилитационный центр “Сергиевские минеральные воды” Федерального медико-биологического агентства» (Серноводск, Россия) (Протокол № 5 от 10.12.2022).

Информированное согласие. В исследовании не раскрывается сведений, позволяющих идентифицировать личность пациентов. От всех пациентов/законных представителей было получено письменное согласие на публикацию всей соответствующей медицинской информации, включенной в рукопись.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Gorelik V.V. — conceptualization, formal analysis; Filippova S.N. — writing & editing; Smentyna O.S. — supervision; Revchuk L.S. — resources, validation; Davydova Ya.V. — investigation.

Funding. This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Ethics Approval. The authors declare that all procedures used in this article are in accordance with the ethical standards of the institutions that conducted the study and are consistent with the 2013 Declaration of Helsinki. The study was approved by the Local Ethics Committee of the Sergievsky Mineral Waters Medical Rehabilitation Center of the Federal Medical and Biological Agency (Sernovodsk, Russia) (Protocol No. 5, dated December 10, 2022)

Informed Consent for Publication. The study does not disclose information to identify the patients. Written consent was obtained from all patients legal representatives for publication of all relevant medical information included in the manuscript.

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

- Абалян А.Г., Мьякинченко Е.Б., Крючков А.С. и др. Научно-методическое обеспечение подготовки паралимпийских команд России с использованием программноцелевого подхода. Вестник спортивной науки. 2016; 1: 3–5. [Abalyan A.G., Myakinchenko E.B., Kryuchkov A.S., et al. Scientific and methodological support for the training of Russian Paralympic teams using a program-targeted approach. Bulletin of Sports Science. 2016; 1: 3–5 (In Russ.).]
- Бочаров М.И., Шилов А.С. Кардиографические изменения при острой гипоксии после интервальных гипоксических тренировок человека. Ульяновский медико-биологический журнал. 2023; 3: 131–142. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2023-3-131-142> [Bocharov M.I., Shilov A.S. Cardiographic changes in acute hypoxia after interval hypoxic training in humans. Ulyanovsk Medical and Biological Journal. 2023; 3: 131–142. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2023-3-131-142> (In Russ.).]

3. Бурчер Й., Глазачев О.С., Копп М. и др. Эффекты интервальных гипоксических экспозиций и интервальных гипоксических тренировок на переносимость физических нагрузок (нарративный обзор). Спортивная медицина: наука и практика. 2024; 14(2): 16–23. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.5> [Burcher Y., Glazachev O.S., Kopp M., et al. Effects of interval hypoxic exposure and interval hypoxic training on exercise tolerance (narrative review). Sports medicine: science and practice. 2024; 14(2): 16–23. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.5> (In Russ.).]
4. Вагин Ю.Е., Классина С.Я., Фудин Н.А. Вариабельность сердечного ритма при скоростно-силовой нагрузке спортсменов после гиповентиляционной тренировки. Спортивная медицина: наука и практика. 2022; 12(2): 67–72. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.2.5> [Vagin Yu.E., Klassina S.Ya., Fudin N.A. Heart rate variability during speed and strength training of athletes after hypoventilation training. Official version: science and practice. 2022; 12(2): 67–72. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.2.5> (In Russ.).]
5. Зиамбетов В.Ю. Повышение пневмотахометрических показателей дыхательной системы в условиях гипоксической тренировки с маской для бега. Человек. Спорт. Медицина. 2025; 25(1): 145–151. <https://doi.org/10.14529/hsm250118> [Ziambetov V.Y. Increased pneumotachometric parameters of the respiratory system in conditions of hypoxic training with a running mask. Human. Sport. Medicine. 2025; 25(1): 145–151. <https://doi.org/10.14529/hsm250118> (In Russ.).]
6. Карпов А.А. Методы развития общей аэробной выносливости. Инновационные научные исследования. 2021; 6–2(8): 152–156. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5529022> [Karpov A.A. Methods of developing general aerobic endurance. Innovative scientific research. 2021; 6–2(8): 152–156. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5529022> (In Russ.).]
7. Колчинская А.З. Интервальная гипоксическая тренировка в спорте высших достижений. Спортивная медицина. 2008; 1: 9–25. [Kolchinskaya A.Z. Interval hypoxic training in high-performance sports. Sports medicine. 2008; 1: 9–25 (In Russ.).]
8. Лебедева Н.Б., Егле А.П., Сахарчук А.Ю. и др. Современные представления о механизмах гипоксически-гипероксических тренировок и возможности их применения при сердечно-сосудистых заболеваниях (обзор литературы). Бюллетень сибирской медицины. 2025; 24(2): 162–168. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2025-2-162-168> [Lebedeva N.B., Egle A.P., Sakharchuk A.Yu., et al. Modern concepts of the mechanisms of hypoxic-hyperoxic training and the possibility of their use in cardiovascular diseases (literature review). Bulletin of Siberian medicine. 2025; 24(2): 162–168. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2025-2-162-168> (In Russ.).]
9. Лукьянова Л.Д., Германова Э.Л., Цыбина Т.А. и др. Эффективность и механизм действия различных типов гипоксических тренировок. Возможность их оптимизации. Патогенез: научно-практический журнал. 2008; 3: 32–36. [Lukyanova L.D., Germanova E.L., Tsybina T.A., et al. The effectiveness and mechanism of action of various types of hypoxic workouts. The possibility of optimizing them. Pathogenesis: a scientific and practical journal. 2008; 3: 32–36 (In Russ.).]
10. Озолин Э.С. Использование гипербарической оксигенации и нормобарической гипоксии в подготовке спортсменов. Теория и практика физической культуры. 2005; 1: 5–8. [Ozolin E.S. The use of hyperbaric oxygenation and normobaric hypoxia in athletes' training. Theory and practice of physical culture. 2005; 1: 5–8 (In Russ.).]
11. Орлов В.А., Стрижакова О.В., Фетисов О.Б. и др. Нормативы и цифровые индикаторы функционального состояния кардиореспираторной системы в технологии «Навигатор здоровья». Вестник новых медтехнологий. 2021; 15(6): 117–123. <https://doi.org/10.24412/2075-4094-2021-6-3-7> [Orlov V.A., Strizhakova O.V., Fetisov O.B., et al. Standards and digital indicators of the functional state of the cardiorespiratory system in the "Navigator of Health" technology. Bulletin of new medical technologies. 2021; 15(6): 117–123. <https://doi.org/10.24412/2075-4094-2021-6-3-7> (In Russ.).]
12. Стрелков Р.Б. Перспективы применения метода прерывистой нормобарической гипокситерапии в медицинской практике. Курортные ведомости. 2006; 5: 37–40. [Strelkov R.B. Prospects of using the method of intermittent normobaric hypoxotherapy in medical practice. Resort bulletin. 2006; 5: 37–40 (In Russ.).]
13. Струганов С.М., Глубокий В.А., Багров С.А. и др. Гипоксическая тренировка как способ коррекции физической работоспособности. Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2021; 11(201): 440–446. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2021.11.p440-446> [Struganov S.M., Glubokiy V.A., Bagrov S.A., et al. Hypoxic training as a way to correct physical performance. Scientific notes of P.F. Lesgaft University. 2021; 11(201): 440–446. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2021.11.p440-446> (In Russ.).]
14. Тамбовцева Р.В., Евстифеев Ю.С. Гипоксические факторы в современной системе подготовки высококвалифицированных спортсменов. Современные вопросы биомедицины. 2025; 9(33). https://doi.org/10.24412/2588-0500-2025_09_03_15 [Tambovtseva R.V., Evstifeev Yu.S. Hypoxic factors in the modern system of training highly qualified athletes. Modern issues of biomedicine. 2025; 9(33). https://doi.org/10.24412/2588-0500-2025_09_03_15 (In Russ.).]
15. Тимофеев Н.Н., Голубев В.Н., Королев Ю.Н. Гипоксическая гипоксия и адаптивные реакции организма человека. Донозоология и здоровый образ жизни. 2013; 1: 53–58. [Timofeev N.N., Golubev V.N., Korolev Yu.N. Hypoxic hypoxia and adaptive reactions of the human body. Prenosology and healthy lifestyle. 2013; 1: 53–58 (In Russ.).]
16. Яковлев М.Ю., Лебедева О.Д., Владимирский В.Е. и др. Эффективность физических нагрузок в кардиореабилитации. Спортивная медицина: наука и практика. 2022; 12(1): 37–46. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.1.1> [Yakovlev M.Yu., Lebedeva O.D., Vladimirsky V.E., et al. The effectiveness of physical activity in cardio rehabilitation. Official medicine: science and practice. 2022; 12(1): 37–46. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.1.1> (In Russ.).]
17. Brocherie F., Timon R. Long-term effects of hypoxic conditioning on sports performance, health and well-being. Frontiers in Physiology. 2022; 13: 1112754. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1112754>
18. Chang W.Y., Wu K.C., Yang A.L. Simulated Altitude Training and Sport Performance: Protocols and Physiological Effects. Applied Sciences. 2023; 13(20): 11381. <https://doi.org/10.3390/app132011381>
19. Kon M, Ohiwa N., Honda A., et al. Effects of systemic hypoxia on human muscular adaptations to resistance exercise training. Physiological Reports. 2014; 2(6): e12033. <https://doi.org/10.14814/phy2.12033>
20. Levine B.D. Intermittent hypoxic training: fact and fancy. High Alt. Med. Biol. 2002; 3(2): 177–193. <https://doi.org/10.1089/15270290260131911>