



ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ГИПОКСИИ, ПОВЫШАЮЩИЕ СПОРТИВНУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

Н.А. ФУДИН, Ю.Е. ВАГИН

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П. К. Анохина»,
ул. Балтийская, д. 8, г. Москва, 125315, Россия, e-mail: nphys@nphys.ru

Аннотация. Физиологические процессы, обеспечивающие увеличение работоспособности спортсменов в следствие произвольной гипоксии изучены недостаточно. **Цель исследования** – изучение физиологических механизмов произвольной респираторной гипоксии, которые могли способствовать повышению результата спортивной деятельности. **Материалы и методы исследования.** 17 спортсменов проводили гиповентиляционные тренировки, совмещенные с двигательными тренировками, в течение 18 дней. До, в ходе и после тренировок у спортсменов регистрировали длительность максимальной произвольной задержки дыхания, количество приседаний на фоне задержки дыхания и концентрацию пирувата и лактата в крови. **Результаты и их обсуждение.** После тренировок спортсменов длительность максимальных произвольных задержек дыхания и количество приседаний спортсменов на фоне максимальной произвольной задержки дыхания увеличилось на $48\pm 7\%$. До тренировок спортсменов концентрация пирувата и лактата в крови была больше нормы. После тренировок концентрация пирувата в крови спортсменов в состоянии покоя увеличилась на $175\pm 25\%$, при задержке дыхания в покое на $100\pm 33\%$ и при физической работе на фоне задержки дыхания на $75\pm 25\%$. Концентрация лактата в крови спортсменов в состоянии покоя уменьшилась на $40\pm 14\%$, при задержке дыхания в покое на $70\pm 7\%$ и при физической работе на фоне задержки дыхания не изменилась. **Заключение.** Тренировки спортсменов увеличивали у них работоспособность за счет ускорения аэробного гликолиза, что было одним из механизмов повышения устойчивости к вентиляционной и двигательной гипоксии. Обсуждены другие известные механизмы произвольной гипоксии, увеличивающие эффективность спортивной деятельности.

Ключевые слова: гипоксия, гликолиз, гиповентиляционные тренировки, задержка дыхания.

PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF VOLUNTARY HYPOXIA INCREASING SPORTS PERFORMANCE

N.A. FUDIN, YU.E. VAGIN

P. K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology,
Baltiyskaya St., 8, Moscow, 125315, Russia, e-mail: mail@nphys.ru

Abstract. Physiological processes that provide an increase in the performance of athletes due to voluntary hypoxia have not been studied enough. **The research purpose** was to study the physiological mechanisms of voluntary respiratory hypoxia, which could contribute to an increase in the result of sports activity. **Materials and methods.** 17 athletes conducted hypoventilation training combined with motor training for 18 days. Before, during and after training, the duration of the maximum voluntary breath holding, the number of squats against the background of breath holding, and the concentration of pyruvate and lactate in the blood were recorded. **Results and its discussion.** After training of athletes, the duration of the maximum voluntary breath holding and the number of squats of athletes against the background of the maximum voluntary breath holding increased by $48\pm 7\%$. Before training athletes, the concentration of pyruvate and lactate in the blood was above the norm. After training, the concentration of pyruvate in the blood of athletes at rest increased by $175\pm 25\%$, while holding the breath at rest by $100\pm 33\%$, and during physical work against the background of holding the breath by $75\pm 25\%$. The concentration of lactate in the blood of athletes at rest decreased by $40\pm 14\%$, while holding the breath at rest by $70\pm 7\%$, and it did not change during physical work against the background of holding the breath. **Conclusion.** Athletes' training increased their performance by accelerating aerobic glycolysis, which was one of the mechanisms for increasing resistance to ventilatory and motor hypoxia. Other known mechanisms of voluntary hypoxia that increase the effectiveness of sports activities are discussed.

Keywords: hypoxia, glycolysis, hypoventilation training, breath holding.

Введение. Гипоксию или недостаток кислорода в организме считают патологическим процессом, ухудшающим функции тканей и органов [6]. Гипоксия сопровождается гиперкапнией, которая сначала активизирует процессы поддержания гомеостаза, затем так же, как гипоксия нарушает нормальное функ-

ционирование организма [13]. Существует несколько видов гипоксии: экзогенная, эндогенная, дыхательная, сердечно-сосудистая, анемическая, тканевая, перегрузочная. Изучены системные и биохимические процессы, возникающие при различных видах гипоксии [14]. При хронической гипоксии [10] возникает комплекс адаптивных процессов, позволяющих организму нормально функционировать длительное время. Острая гипоксия ведет к необратимым изменениям в организме. Все виды гипоксии не зависят от сознания человека.

Кроме патологической гипоксии уменьшение содержания кислорода в организме человека можно вызвать произвольной регуляцией внешнего дыхания, задерживая обычный гиповентиляционный ритм дыхания вплоть до длительных задержек дыхания. Установлено, что многодневные сознательные задержки ритма дыхания спортсменов увеличивали длительность двигательной работы до предела физиологической возможности [9, 11, 12]. Механизмы увеличения работоспособности спортсменов в следствие произвольной физиологической гипоксии изучены недостаточно.

Цель исследования – изучение физиологических механизмов произвольной респираторной гипоксии, которые могли способствовать повышению конечного результата спортивной деятельности.

Для достижения этой цели исследования необходимо было зарегистрировать изменения функций организма спортсменов при длительной произвольной гипоксии. Динамика длительности *задержки дыхания* (ЗД) спортсменов могла отражать изменение их вентиляционной гипоксическую устойчивость [9]. Динамика длительности физической нагрузки спортсменов на фоне ЗД могла быть для них характеристикой не только вентиляционной, но и двигательной гипоксическую устойчивость [7].

Известно, что промежуточные молекулы аэробного и анаэробного гликолиза во всех тканях организма частично диффундируют в кровь, и по динамике их концентрации в крови можно исследовать интенсивность гликолиза в тканях [4, 5]. Концентрация пирувата в крови отражает интенсивностью аэробного гликолиза в тканях. Концентрация лактата в крови всегда увеличивается при анаэробном гликолизе, но может также зависеть от концентрации пирувата при аэробном гликолизе в тканях за счет частичного превращения пирувата в лактат [5, 15].

Материалы и методы исследования. Протокол исследования был одобрен комитетом по биомедицинской этике ФГБНУ НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина и выполнен в соответствии с рекомендациями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации [16].

Контингент обследуемых спортсменов. Было обследовано 17 спортсменов, занимающихся физической культурой и спортом в рамках вузовской программы, в возрасте 18-20 лет. Все спортсмены не имели врачебных противопоказаний к физическим упражнениям и произвольным задержкам дыхания. Все спортсмены были проинформированы о последовательности действий при исследовании и дали письменное согласие на участие в исследовании.

Последовательность исследования. В начале исследования у каждого спортсмена проводили гипоксическую пробу Штанге, измеряя в состоянии покоя максимальную длительность произвольной ЗД после субмаксимального вдоха. Затем у спортсменов измеряли количество глубоких приседаний из положения стоя до предела физиологической возможности на фоне максимальной произвольной ЗД и длительность этой ЗД.

После этого спортсменов обучали гиповентиляционному ритму дыхания в покое в положении сидя. Дыхание было спокойным и ритмичным с длительностью вдоха 1,2 с, выдоха 1,5 с и удлиненной паузой после выдоха в течение 5-10 с. Затем спортсмены самостоятельно проводили ГВТ по 30 минут три раза в день. Длительность ГВТ была 18 ± 1 дней. После каждой тренировки спортсмены самостоятельно измеряли длительность максимальной произвольной ЗД и фиксировали результат в дневнике, обращая внимание на увеличение длительности ЗД. Исследователи проверяли длительность ЗД один раз в неделю, оценивая эффективность ГВТ, и в случае необходимости давали спортсменам дополнительные указания. Кроме самостоятельных ГВТ спортсменов раз в неделю проводили ГВТ спортсменов под руководством исследователя в течение 30-40-мин. Каждая ГВТ включала измерение длительности максимальной произвольной ЗД в покое в начале, в середине и после окончания ГВТ, три этапа гиповентиляционного дыхания по 10 мин с перерывами по 5 мин и приседания с измерением их количества на фоне максимальной произвольной ЗД с измерением ее длительности перед и после ГВТ.

Независимо от ГВТ спортсмены занимались физической культурой и спортом в течение двух часов два раза в неделю в рамках вузовской учебной программы по общей физической подготовке.

У спортсменов брали пробы крови 3 раза в исходном состоянии и 3 раза после гиповентиляционных и двигательных тренировок. Пробы крови брали в состоянии физического покоя, при окончании максимальной произвольной ЗД в покое и при окончании физической нагрузки на фоне максимальной произвольной ЗД. В пробах крови измеряли концентрацию пирувата и лактата [3]. Концентрацию пирувата измеряли при смешивании пробы крови с набором реагентов с последующей фотоэлектрокалориметрией окраски раствора. Концентрацию лактата измеряли энзиматически при реакции пробы крови с лактооксидазой и пероксидазой с последующим измерением интенсивности окраски раствора на анализаторе.

Статистический анализ. Полученные результаты обрабатывали с помощью параметрического пакета программы *Statistica 10* компании «Microsoft». В каждой группе спортсменов вычисляли средние арифметические величины и среднее квадратичное отклонение ($M \pm \sigma$) для каждого исследуемого параметра. Различия между средними величинами параметров оценивали по *t*-критерию Стьюдента, и они были при статистической значимости $p < 0,05$

Результаты и их обсуждение. *Динамика длительности ЗД спортсменов в ходе ГВТ.* На разных этапах исследования при самостоятельных ГВТ и ГВТ спортсменов под руководством исследователя длительность максимальных произвольных ЗД увеличилась от полутора до двух раз. Сразу после первой тренировки спортсменов под руководством исследователя максимальная произвольная ЗД у спортсменов в состоянии физического покоя была от 34 с до 1 мин 51 с, в среднем 68 ± 5 с. После тренировки с исследователем на 8 день ГВТ длительность ЗД была от 54 с до 2 мин 28 с, в среднем $1 \text{ мин } 17 \pm 7$ с. На 8 день ГВТ длительность ЗД увеличилась статистически значимо при $p = 0,005$ в среднем на $30 \pm 9\%$. Сразу после последней тренировки длительность ЗД была от 61 с до 2 мин 28 с, в среднем $1 \text{ мин } 38 \pm 6$ с. В ходе ГВТ от первой к завершающей тренировке сразу после этих тренировок длительность ЗД увеличилась статистически значимо при $p = 0,0000004$ в среднем на $48 \pm 7\%$ (рис. 1).

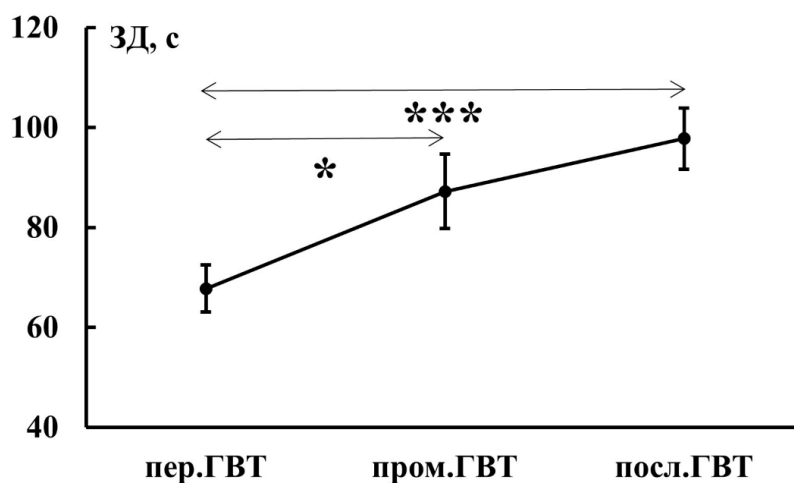


Рис. 1. Длительность максимальной произвольной задержки дыхания (ЗД, с) после завершения первой (пер.), после завершения промежуточной (пром.) и после завершения последней (посл.) гиповентиляционных тренировок (ГВТ) с исследователем

Примечание: * – статистически значимое отличие между ЗД после завершения первой и после завершения промежуточной ГВТ при $p < 0,05$. *** – статистически значимое отличие между ЗД после завершения первой и после завершения последней ГВТ при $p < 0,001$.

ГВТ спортсменов, совмещенные с их двигательными тренировками, увеличивали у них вентиляционную и двигательную гипоксическую устойчивость, что могло способствовать повышению их работоспособность при спортивной деятельности.

Динамика количества приседаний спортсменов на фоне ЗД в ходе ГВТ. В ходе первых приседаний на фоне максимальной произвольной ЗД при первой тренировке спортсменов под руководством исследователя спортсмены присели от 16 до 33 раз, в среднем 22 ± 1 раз. В ходе первых приседаний на фоне максимальной произвольной ЗД при повторной тренировке спортсменов под руководством исследователя на 8 день ГВТ спортсмены присели от 18 до 40 раз, в среднем 26 ± 2 раз. На 8 день ГВТ при тренировках спортсменов под руководством исследователя количество приседаний на фоне максимальной произвольной ЗД спортсменов увеличилось статистически значимо при $p = 0,02$ в среднем на $22 \pm 7\%$. В ходе первых приседаний на фоне максимальной произвольной ЗД при последней тренировке спортсменов под руководством исследователя спортсмены присели от 25 до 42 раз, в среднем 31 ± 1 раз. От начала к концу ГВТ при тренировках спортсменов под руководством исследователя количество приседаний на фоне максимальной произвольной ЗД спортсменов увеличилось статистически значимо при $p = 0,000001$ в среднем на $48 \pm 7\%$ (рис. 2).

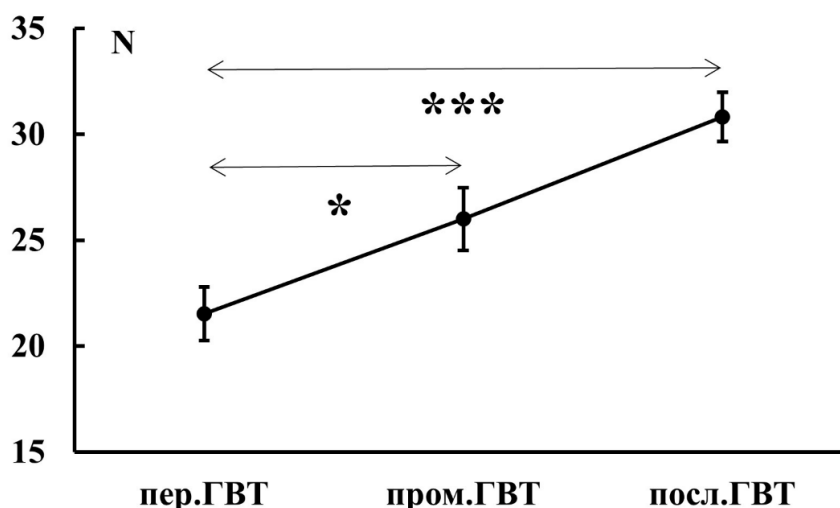


Рис. 2. Количество приседаний спортсменов (N) при первых приседаниях на фоне максимальной произвольной задержки дыхания при первой (пер.), при промежуточной (пром.) и при последней (посл.) гиповентиляционных тренировках (ГВТ) спортсменов под руководством исследователя.

Примечание: * – статистически значимое отличие между N при первой и при промежуточной ГВТ при $p < 0,05$. *** – статистически значимое отличие между N при первой и при последней ГВТ при $p < 0,001$.

ГВТ спортсменов, совмещенные с их двигательными тренировками, увеличивали у них работоспособность на фоне вентиляционной и двигательной гипоксии, что способствовало достижению более высоких результатов при приседаниях на фоне максимальной произвольной ЗД.

Изменения концентрация пирувата. У спортсменов в исходном состоянии концентрация пирувата в крови была 0,3-0,4 ммоль/л, что превышало уровень нормальной концентрации 0,05-0,1 ммоль/л для здоровых людей в покое при анализе крови натощак [4, 5]. Увеличенная концентрация пирувата указывало на повышенный уровень аэробного гликолиза у спортсменов в предстартовом состоянии перед началом ГВТ. Кратковременные изменения функционального состояния спортсменов при ЗД и физической нагрузке не изменяли концентрацию пирувата до ГВТ (табл.).

После ГВТ совмещенных с двигательными тренировками спортсменов концентрация пирувата в крови увеличилась статистически значимо при $p < 0,005$ при всех исследованных функциональных состояниях по сравнению с этой концентрацией до ГВТ. В состоянии покоя это увеличение было на $175 \pm 25\%$, при максимальной произвольной ЗД в покое на $100 \pm 33\%$ и при физической работе на фоне максимальной произвольной ЗД на $75 \pm 25\%$ (табл.). Увеличение концентрации пирувата в крови спортсменов указывало на увеличение скорости аэробного окисления в глюкозы [4, 5] во всех трех исследованных функциональных состояниях после ГВТ, что могло быть одним из физиологических механизмов повышения гипоксической устойчивости и физической работоспособности спортсменов в следствие произвольной гипоксии при тренировках.

Таблица

Динамика концентрация пирувата и лактата в крови (ммоль/л) спортсменов до и после гиповентиляционных тренировок, совмещенных с двигательными тренировками.

Промежуточные молекулы гликолиза	Функциональное состояние спортсменов	В состоянии физического покоя	После максимальной произвольной задержки дыхания в покое	После физической нагрузки на фоне максимальной произвольной задержки дыхания
Пируват	До тренировок	0,4±0,1	0,3±0,1	0,4±0,1
	После тренировок	1,1±0,1	0,6±0,1	0,7±0,1
Лактат	До тренировок	3,5±0,04	2,7±0,2	,0±0,3
	После тренировок	2,1±0,5	1,9±0,2	4,1±0,3

Изменения концентрация лактата. У спортсменов в исходном состоянии концентрация лактата в крови существенно не зависела от функционального состояния обследованных людей и была 2,7-4,0 ммоль/л, что превышало уровень нормальной концентрации 0,5-2,2 ммоль/л для здоровых людей в покое

при анализе крови натощак [4, 15]. Это могло быть связано с увеличенной концентрацией пирувата, который всегда частично превращается в лактат (таблица).

После ГВТ, совмещенных с двигательными тренировками спортсменов, концентрация лактата в крови уменьшилась статистически значимо при $p < 0,005$ в состоянии покоя на $40 \pm 14\%$ и при максимальной произвольной ЗД в покое на $70 \pm 7\%$ (табл.). Уменьшение концентрации лактата могло быть результатом уменьшения образования лактата из пирувата за счет увеличения окисления пирувата в реакциях аэробного гликолиза [4, 15]. После тренировок у спортсменов при их физической нагрузке на фоне максимальной произвольной ЗД концентрация лактата увеличилась до исходного повышенного уровня, составляя от исходной величины $2 \pm 7\%$ (табл.). Это могло быть обусловлено ускорением аэробного гликолиза, увеличение концентрации пирувата и частичным превращением его в лактат. После ГВТ при физической нагрузке спортсменов усиление анаэробного гликолиза не происходило и отсутствовала угроза для организма ацидоза, что способствовало увеличению работоспособности спортсменов.

Заключение. Тренировки спортсменов, включающие гиповентиляционные упражнения, физические тренировки и регулярные максимальные произвольные ЗД не вызывали у спортсменов жалоб на состояние их здоровья. Признаки гипоксического синдрома, возникающего при хронической форме непроизвольной гипоксии [13], не были зарегистрированы.

Тренировки спортсменов не изменяли основные параметры внешнего дыхания, сердечно-сосудистые и другие физиологические параметры постоянства внутренней среды организма спортсменов [1, 2, 8], но увеличивали их резервные возможности при спортивной деятельности [9]. Тренировки спортсменов уменьшали их психоэмоциональное напряжение в состоянии физического покоя между сессиями ГВТ и в предстартовом состоянии перед физической нагрузкой [2, 8].

Тренировки спортсменов увеличивали у них симпатические влияния на сердечный ритм [1], соответствующий кислородному запросу организма при вентиляционной и двигательной гипоксии и зарегистрированному повышению кровообращения в органах и тканях организма при физической работе на фоне максимальной произвольной ЗД.

Вызванная ГВТ спортсменов гипоксическая и гиперкапническая афферентация от альвеолярных и сосудистых механорецепторов и хеморецепторов возбуждала дыхательный центр с целью нормализации газового состава крови [7, 9]. Повышалась чувствительность мотонейронов спинного мозга к кортикальному и субкортикальному контролю внешнего дыхания, что увеличивало резервные возможности ритма дыхания при интенсивной двигательной деятельности спортсменов. Одновременно увеличивалась возбудимость спинальных мотонейронов, управляющих локомоторными функциями спортсменов, что увеличивало выносливость работающих мышц при физической нагрузке [2, 8].

Исследование, результаты которого представлены в этой статье, установило, что многократно повторяющееся гиповентиляционное дыхание и регулярные задержки дыхания, совмещенные с двигательными тренировками спортсменов, увеличивали у них интенсивность аэробного окисления глюкозы в тканях, что могло быть результатом увеличения количества митохондрий осуществляющих окислительное фосфорилирование в работающей мускулатуре спортсменов [10]. Ускорение аэробного гликолиза сопровождалось образованием большего количества молекул АТФ, которые позволили увеличить силу и длительность мышечных сокращений у спортсменов при физической нагрузке.

Таким образом, физиологические механизмы произвольной гипоксии увеличивали резервные возможности организма спортсменов с целью достижения высокого спортивного результата.

Литература

1. Вагин Ю.Е., Классина С.Я., Фудин Н.А. Вариабельность сердечного ритма при скоростно-силовой нагрузки спортсменов после гиповентиляционной тренировки // Спортивная медицина: наука и практика. 2022. № 2(12). С. 67–72. DOI: 10.47529/2223-2524.2022.2.5.
2. Вагин Ю.Е., Фудин Н.А., Классина С.Я. Процессы, определяющие увеличение работоспособности спортсменов после гиповентиляционного дыхания // Вестник новых медицинских технологий. 2022. № 2(29). С. 53–56. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-2-53-56.
3. Кишкун А.А. Справочник заведующего клинико-диагностической лабораторией. Москва: ГЭО-ТАР-Медиа. 2021. 912 с. DOI 10.33029/9704-6439-7-LAB-2021-1-912.
4. Колесникова Л.И., Власов Б.Я., Колесников С.И., Даренская М.А., Гребенкина Л.А., Натяганова Л.В., Семенова Н.В., Гнусина С.В. Значения лактата, пирувата и их соотношений у пациентов сахарным диабетом 1-го типа // Клиническая лабораторная диагностика. 2016. № 7(61). С. 405–407. DOI: 10.18821/0869-2084-2016-61-7-405-407.
5. Колотьева Н.А., Гильмиярова Ф.Н. Роль малых молекул в регуляции обмена веществ (обзор литературы) // Клиническая лабораторная диагностика. 2019. № 12(64). С. 716–722. DOI: 10.18821/0869-2084-2019-64-12-716-722.

6. Токарев А.Р., Киреев С.С. Гипоксия при артериальной гипертензии (краткий обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. 2016. № 2(23). С. 233–239. DOI: 10.12737/20452.
7. Фудин, Н.А. Физиологические механизмы произвольной регуляции дыхания при занятиях спортом: монография М.: Спорт, 2020. 224 с.
8. Фудин Н.А., Вагин Ю.Е., Классина С.Я. Влияние гиповентиляционной тренировки на скоростно-силовую работу спортсменов // Наука и спорт: современные тенденции. 2022. № 1(10). С. 62–69. DOI:10.36028/2308-8826-2022-10-1-62-69.
9. Фудин Н.А., Вагин Ю.Е., Классина С.Я. Физиологическое обоснование гиповентиляционных тренировок, повышающих физическую работоспособность // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2022. № 5(16). С. 74–77. DOI: 10.24412/2075-4094-2022-5-3-1.
10. Фудин Н.А., Гладких П.Г., Хадарцев А.А., Иванов Д.В. Вопросы спортивной медицины. Роль митохондрий. Хроническая гипоксия (обзор литературы по материалам 2015–2017 гг.) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2017. №4. Публикация 7-5. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2017-4/7-5.pdf> (дата обращения: 22.11.2017). DOI: 10.12737/article_5a16e04f7ffc74.86106720.
11. Фудин Н.А., Хадарцев А.А. Эффекты изометрических нагрузок у здоровых лиц, спортсменов и при различной патологии (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2019. №6. Публикация 3-11. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2019-6/3-11.pdf> (дата обращения: 17.12.2019). DOI: 10.24411/2075-4094-2019-16587
12. Фудин Н.А., Хадарцев А.А., Орлов В.А. Медико-биологические технологии в физической культуре и спорте. Москва, 2018. 163 с.
13. Burtcher J., Mallet R.T., Burtcher M., Millet G.P. Hypoxia and brain aging: Neurodegeneration or neuroprotection? // Ageing Res Rev. 2021. №68. P. 101343. DOI: 10.1016/j.arr.2021.101343.
14. Corfield D.R., McKay L.C. Regional Cerebrovascular Responses to Hypercapnia and Hypoxia // Adv Exp Med Biol. 2016. №903. P. 157–167. DOI: 10.1007/978-1-4899-7678-9_11.
15. Feldman A.G., Sokol R., Hardison R.M., Alonso E.M., Squires R.H., Narkewicz M.R. Lactate and lactate: pyruvate-ratio in the diagnosis and outcomes of pediatric acute liver failure // J Pediatrics. 2017. №182. P. 217–222. DOI: 10.1016/j.jpeds.2016.12.031.
16. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for medical research involving human subjects // JAMA. 2013. №20(310). P. 2191–2194. DOI: 10.1001/jama.2013.281053.

References

1. Vaguine YuE, Klassina SYa, Fudin NA. Variabel'nost' serdechnogo ritma pri skorostno-silovoy nagruzki sportsmenov posle gipoventilyatsionnoy trenirovki [Heart rate variability during speed-strength load of athletes after hypoventilation training]. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika. 2022;12(2):67-72. DOI: 10.47529/2223-2524.2022.2.5. Russian.
2. Vagin YuE, Fudin NA, Klassina SYa. Protsessy, opredelyayushchie uvelichenie rabotosposobnosti sportsmenov posle gipoventilyatsionnogo dykhaniya [Processes determining an increase in athletes' working capability after hypoventilation breathing]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2022;29(2):53-6. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-2-53-56. Russian.
3. Kishkun AA. Spravochnik zaveduyushchego kliniko-diagnosticheskoy laboratoriyey [Reference book of the head of the clinical diagnostic laboratory]. Moskva: GEOTAR-Media; 2021. DOI 10.33029/9704-6439-7-LAB-2021-1-912. Russian.
4. Kolesnikova LI, Vlasov BYa, Kolesnikov SI, Darenskaya MA, Grebenkina LA, Natyaganova LV, Semenova NV, Gnusina SV. Znacheniya laktata, piruvata i ikh sootnosheniy u patsiyentov sakharnym diabetom 1-go tipa. [The values of lactate, pyruvate, and their ratio in patients with diabetes mellitus type I]. Klinicheskaya laboratornaya diagnostika 2016;61(7):405-7. DOI: 10.18821/0869-2084-2016-61-7-405-407. Russian.
5. Kolotyeva NA, Gilmiyarova FN. Rol' malykh molekul v regulyatsii obmena veshchestv (obzor literatury) [The role of small molecules in metabolism regulation (review of literature)] Klinicheskaya laboratornaya diagnostika. 2019;64(12):716–722. DOI: 10.18821/0869-2084-2019-64-12-716-722. Russia.
6. Tokarev AR, Kireev SS. Gipoksiya pri arterial'noy gipertenzii (kratkiy obzor literatury) [Hypoxia in arterial hypertension (a brief review of the literature)]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;23(2):233-9. DOI: 10.12737/20452. Russian.
7. Fudin NA. Fiziologicheskiye mekhanizmy proizvol'noy regulyatsii dykhaniya pri zanyatiyakh sportom [Physiological mechanisms of voluntary regulation of breathing during sports]. Moskva: Sport; 2020. Russian.
8. Fudin NA, Vagin YE, Klassina SY. Vliyaniye gipoventilyatsionnoy trenirovki na skorostno-silovuyu rabotu sportsmenov [The impact of hypoventilation training on speed-strength performance of athletes]. Nauka i sport: sovremennyye tendentsii. 2022;10(1):62–69. DOI:10.36028/2308-8826-2022-10-1-62-69. Russian.

9. Fudin NA, Vagin YuE, Classina SYa. Fiziologicheskoe obosnovanie gipoventiljacionnyh trenirovok, povyshajushhih fizicheskiju rabotosposobnost' [Physiological substantiation of hypoventilation trainings, increasing physical workability]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoye izdaniye. 2022;16(5):74–77. DOI: 10.24412/2075-4094-2022-5-3-1. Russian.
10. Fudin NA, Gladkikh PG, Khadartsev AA, Ivanov DV. Voprosy sportivnoy meditsiny. Rol' mitokhondriy. Khronicheskaya gipoksiya (obzor literatury po materialam 2015–2017 gg.) [Questions of sports medicine. The role of mitochondria. Chronic hypoxia (literature review based on 2015–2017 materials)]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoye izdaniye. 2017;(4):298-308. DOI: 10.12737/article_5a16e04f7ffc74.86106720. Russian.
11. Fudin NA, Khadartsev AA. Jeffekty izometricheskikh nagruzok u zdorovykh lic, sportsmenov i pri razlichnoj patologii (obzor literatury) [Effects of isometric loads in healthy persons, athletes at different pathology (literature review)]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2019 [cited 2019 Dec 17];6 [about 12 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2019-6/3-11.pdf>. DOI: 10.24411/2075-4094-2019-16587.
12. Fudin NA, Hadarcev AA, Orlov VA. Mediko-biologicheskie tehnologii v fizicheskoy kul'ture i sporte [Biomedical technologies in physical culture and sports]. Moskva, 2018. Russian.
13. Burtscher J, Mallet RT, Burtscher M, Millet GP. Hypoxia and brain aging: Neurodegeneration or neuroprotection? Ageing Res Rev. 2021;68:101343. DOI: 10.1016/j.arr.2021.101343.
14. Corfield DR, McKay LC. Regional Cerebrovascular Responses to Hypercapnia and Hypoxia. Adv Exp Med Biol. 2016;903:157-67. DOI: 10.1007/978-1-4899-7678-9_11.
15. Feldman AG, Sokol R, Hardison RM, Alonso EM, Squires RH, Narkewicz MR. Lactate and lactate: pyruvate-ratio in the diagnosis and outcomes of pediatric acute liver failure. J Pediatrics. 2017;(182):217-22. DOI: 10.1016/j.jpeds.2016.12.031.
16. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for medical research involving human subjects. JAMA. 2013;20(310):2191-4. DOI: 10.1001/jama.2013.281053.

Библиографическая ссылка:

Фудин Н.А., Вагин Ю.Е. Физиологические механизмы произвольной гипоксии, повышающие спортивную работоспособность // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2023. №2. Публикация 3-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-2/3-4.pdf> (дата обращения: 14.04.2023). DOI: 10.24412/2075-4094-2023-2-3-4. EDN UEJZNK*

Bibliographic reference:

Fudin NA, Vagin YuE. Fiziologicheskie mehanizmy proizvol'noj gipoksii, povyshajushhie sportivnuju rabotosposobnost' [Physiological mechanisms of voluntary hypoxia increasing sports performance]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2023 [cited 2023 Apr 14];2 [about 7 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-2/3-4.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2023-2-3-4. EDN UEJZNK

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-2/e2023-2.pdf>

**идентификатор для научных публикаций EDN (eLIBRARY Document Number) будет активен после выгрузки полной версии журнала в eLIBRARY