



РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СПОРТСМЕНОВ И РОЛЬ СИСТЕМЫ ДЫХАНИЯ ПРИ ГИПОВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРЕНИРОВКАХ

Н.А. ФУДИН, Ю.Е. ВАГИН, Е.В. БЫКОВА

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий», ул. Балтийская, д. 8, г. Москва, 125315, Россия,
e-mail: info@academpharm.ru

Аннотация. Известно, что гиповентиляционное дыхание увеличивает работоспособность спортсменов. Однако значение внешнего дыхания в повышении результативной деятельности спортсменов остается изученным недостаточно. **Цель исследования** – определить роль внешнего дыхания в увеличении работоспособности спортсменов при гиповентиляционных тренировках. **Материалы и методы исследования.** 12 спортсменов проводили гиповентиляционные тренировки, совмещенные с двигательными тренировками, в течение 4 недель. До, в ходе и после тренировок у спортсменов регистрировали время максимальной произвольной задержки дыхания в покое, количество приседаний на фоне максимальной произвольной задержки дыхания, а также параметры спирометрии. **Результаты и их обсуждение.** Тренировки спортсменов привели к увеличению длительности задержки дыхания в покое на 113 %. Количество приседаний на фоне максимальной произвольной задержки дыхания увеличилось на 58 %. У спортсменов не изменились частота дыхания, дыхательный объем и минутный объем дыхания, а максимальная вентиляция легких увеличилась на 28 %. **Заключение.** Гиповентиляционные тренировки спортсменов увеличили их работоспособность и устойчивость к гипоксии при циклических нагрузках. Повысились резервные возможности внешнего дыхания, обеспечивающие спортивную деятельность.

Ключевые слова: задержка дыхания, гиповентиляционные тренировки, спирометрия, внешнее дыхание.

PERFORMANCE OF ATHLETES AND THE ROLE OF THE RESPIRATORY SYSTEM IN HYPOVENTILATION TRAINING

N.A. FUDIN, Yu.E. VAGIN, E.V. BYKOVA

Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies”, 8 Baltiyskaya str., Moscow, 125315, Russia,
e-mail: info@academpharm.ru

Abstract. Hypoventilation breathing is known to increase the performance of athletes. However, the importance of external respiration in increasing the performance of athletes remains insufficiently studied. **Purpose** of the study was to determine the role of external respiration in increasing the performance of athletes during hypoventilation training. **Materials and methods.** 12 athletes performed hypoventilation training combined with motor training for 4 weeks. Before, during and after training, the time of maximal voluntary breath-holding at rest, the number of squats against the background of maximal voluntary breath-holding, as well as spirometry parameters were recorded in the athletes. **Results and their discussion.** Training of the athletes resulted in an increase in the duration of breath-holding at rest by 113%. The number of squats against the background of maximum voluntary breath-holding increased by 58%. The athletes' respiratory rate, respiratory volume and minute respiratory volume did not change, and maximal lung ventilation increased by 28%. **Conclusion.** Hypoventilation training of athletes increased their performance and resistance to hypoxia during cyclic exercise. Reserve capabilities of external respiration for providing sports activity increased.

Keywords: breath hold, hypoventilation training, spirometry, external respiration.

Введение. Известно, что в циклических видах спорта результаты спортсменов зависят от их работоспособности. Возможность выполнения длительной интенсивной работы спортсменами зависит от их физической подготовки, устойчивости организма к гипоксии и резервных возможностей систем кровообращения и дыхания. Одним из новых способов подготовки спортсменов стали гиповентиляционные тренировки (ГВТ), которые дополняют традиционные двигательные тренировки. Было установлено, что ГВТ увеличивали работоспособность спортсменов за счет дополнительных компенсаторных процессов саморегуляции функций организма [1, 2, 6, 7].

Имеются начальные сведения о роли внешнего дыхания в результативной деятельности спортсменов после ГВТ [4, 8]. Однако значение внешнего дыхания в увеличении эффективности тренировок спортсменов остается изученным недостаточно.

Цель исследования – определить роль внешнего дыхания в увеличении работоспособности спортсменов при ГВТ.

Материалы и методы исследования. Протокол исследования был одобрен комитетом по биоэтической этике ФГБНУ НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина и выполнен в соответствии с рекомендациями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации [13].

Контингент обследуемых спортсменов. Было обследовано 12 начинающих 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. Исследование проходило на фоне продолжающихся регулярных двигательных тренировок спортсменов в течение двух часов два раза в неделю. Сначала у спортсменов регистрации параметров спирометрии на микропроцессорном портативном спирографе СМП-21/01«РД». Носовое дыхание перекрывали зажимом для носа, и каждый спортсмен дышал через мундштук, вставленный в рот. Другой стороной мундштук был соединен с датчиком спирографа, который измерял объем и скорость воздушного потока каждого вдоха и выдоха и основной блок спирометра показывал на дисплее спирометра параметры внешнего дыхания спортсмена.

После спирометрии у каждого спортсмена проводили гипоксическую пробу Штанге, измеряя в состоянии покоя максимальную длительность произвольной *задержки дыхания* (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.

Потом 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 4 недели, что было достаточно для получения положительных изменений в организме спортсменов, как было установлено предыдущими исследованиями лаборатории [2, 6, 7]. 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 такая тренировка включала измерение длительности максимальной произвольной ЗД в покое в начале, в середине и после окончания тренировки, 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 тренировки.

После окончания самостоятельных ГВТ спортсменов и ГВТ спортсменов под руководством исследователя у спортсменов в состоянии покоя повторно измеряли параметры спирометрии.

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. В состоянии покоя спортсменов длительность их максимальной произвольной ЗД до самостоятельных ГВТ была от 48 с до 2 мин 10 с, в среднем 1 мин 20,0 с $\pm 7,2$ с. В ходе проведения ГВТ перед проведением очередной ГВТ длительность ЗД увеличилась через 1 неделю на 58 \pm 9%, через 2 недели – на 80 \pm 13%, через 3 недели – на 93 \pm 15 и через 4 недели – на 113 \pm 18%. Через 4 недели ГВТ длительность ЗД была от 1 мин 19 с до 3 мин 50 с, в среднем 2 мин 47,7 с $\pm 15,4$ с. От 1 до 4 недели ГВТ увеличение длительности ЗД по сравнению длительностью ЗД до ГВТ было статистически значимым при $p < 0,001$ (рис. 1). Увеличение длительности ЗД после ГВТ имело прямую корреляционную зависимость ($r = 0,71$) от величины ЗД до тренировки при статистически значимых величинах коэффициенте корреляции $r > 0,55$.

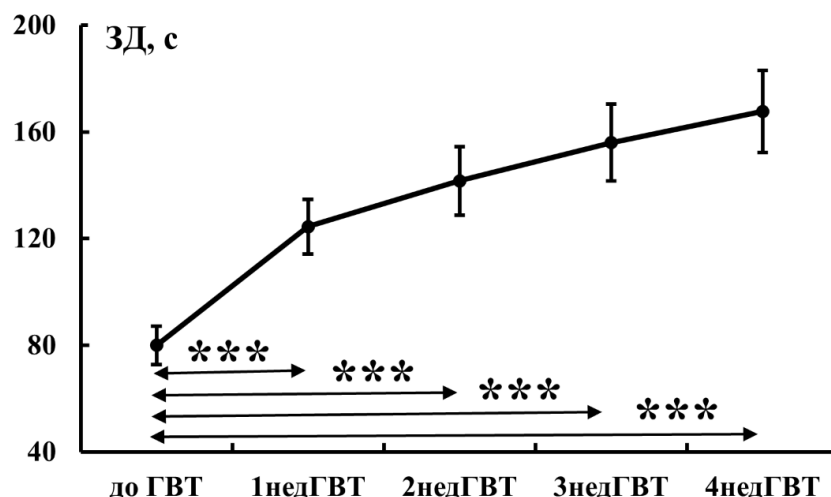


Рис. 1. Длительность максимальной произвольной задержки дыхания (ЗД, с) в состоянии физического покоя спортсменов перед самостоятельными гиповентиляционными тренировками (ГВТ) до ГВТ и через 1, 2, 3 и 4 недели ГВТ.

Примечание: *** – статистически значимое отличие между ЗД до ГВТ и через 1, 2, 3 и 4 недели ГВТ при $p < 0,001$.

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

Динамика количества приседаний спортсменов на фоне ЗД в ходе ГВТ. В ходе проведения ГВТ количество приседаний на фоне максимальной произвольной ЗД увеличивалось более, чем в полутора раза. При первой тренировке спортсменов под руководством исследователя спортсмены присели от 12 до 40 раз, в среднем $26,7 \pm 2,3$ раз. В ходе ГВТ количество приседаний увеличилось через 1 неделю на $28 \pm 8\%$, через 2 недели – на $44 \pm 6\%$, через 3 недели – на $58 \pm 9\%$ и через 4 недели – на $57 \pm 6\%$. Через 4 недели ГВТ количество приседаний было от 21 до 64 раз, в среднем $41,1 \pm 3,3$ раз. От 1 до 4 недели ГВТ увеличение количества приседаний по сравнению количеством приседаний до ГВТ было статистически значимым на 1 неделе при $p < 0,005$ и на 2, 3 и 4 неделе при $p < 0,001$ (рис. 2).

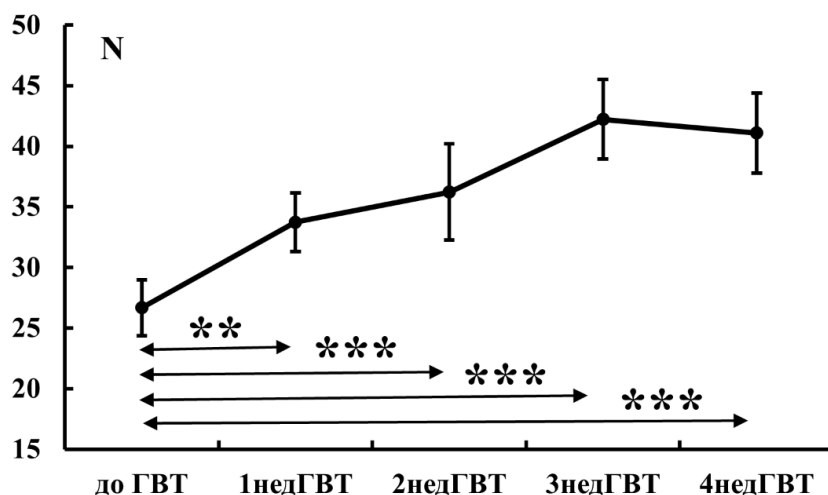


Рис. 2. Количество приседаний спортсменов (N) при первых приседаниях на фоне максимальной произвольной ЗД при гиповентиляционных тренировках (ГВТ) под руководством исследователя до ГВТ и через 1, 2, 3 и 4 недели ГВТ.

Примечание: ** – статистически значимое отличие между количеством приседаний до ГВТ и через 1 неделю ГВТ при $p < 0,005$; *** – статистически значимое отличие между количеством приседаний до ГВТ и через 2, 3 и 4 недели ГВТ при $p < 0,001$

Следовательно, ГВТ увеличивали работоспособность спортсменов на фоне вентиляционной и двигательной гипоксии, что могло способствовать достижению более высоких спортивных результатов при спортивных нагрузках.

Динамика параметров спирометрии спортсменов в ходе ГВТ. В состоянии покоя до физической нагрузки спортсменов динамические параметры их внешнего дыхания: частота дыхания, дыхательный объем, и минутный объем дыхания имели существенные индивидуальные отличия, а средние значения этих параметров статистически значимо не изменялись в ходе ГВТ. Ранее нами было установлено, что в ходе ГВТ не изменяются статические легочные объемы: жизненной емкости легких, форсированной жизненной емкости легких, объема форсированного выдоха за первую секунду, индекс Тиффно [4, 8]. Следовательно, ГВТ не влияла на основные параметры внешнего дыхания, поддерживающих гомеостаз организма спортсменов.

Для определения резервных возможностей внешнего дыхания спортсмены в состоянии покоя дышали максимально глубоко и часто. При этом измеряли объем воздуха, который проходит через легкие в минуту – *максимальную вентиляцию легких* (МВЛ). В состоянии покоя спортсменов МВЛ до ГВТ была от 88,5 до 191,7 л/мин, в среднем $145,5 \pm 9,0$ л/мин. В ходе проведения ГВТ перед проведением очередной ГВТ под руководством исследователя МВЛ увеличилась через 1 неделю на $14 \pm 4\%$, через 2 недели – на $16 \pm 4\%$, через 3 недели – на $23 \pm 4\%$ и через 4 недели – на $28 \pm 4\%$. Через 4 недели ГВТ МВЛ была от 128,8 до 215,4 л/мин, в среднем $184,6 \pm 5,4$ л/мин. От 1 до 4 недели ГВТ увеличение МВЛ по сравнению МВЛ до ГВТ было статистически значимым на 1 неделе при $p < 0,05$, на 3 неделе при $p < 0,005$ и на 4 неделе при $p < 0,001$ (рис. 3).

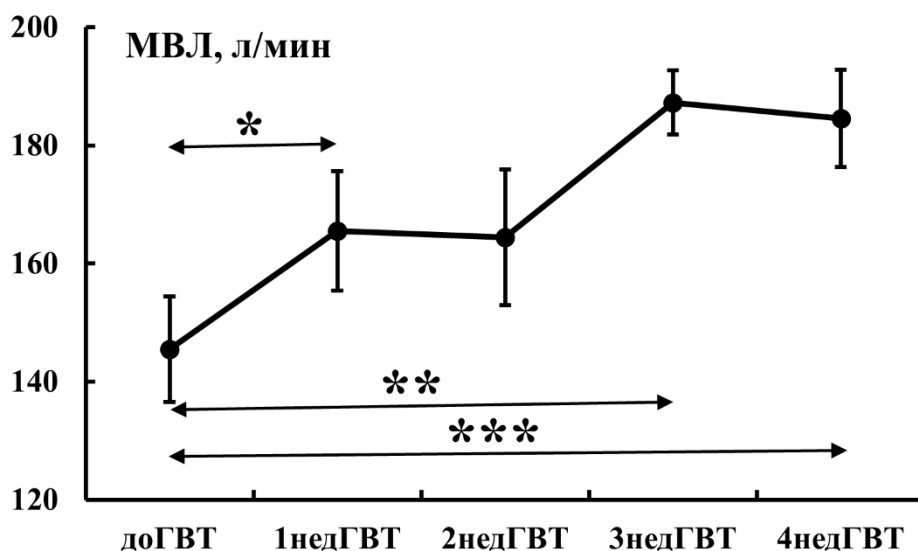


Рис. 3. Максимальная вентиляция легких (МВЛ, л/мин) спортсменов в состоянии покоя до гиповентиляционных тренировок (ГВТ) под руководством исследователя до ГВТ и через 1, 2, 3 и 4 недели ГВТ.

Примечание: * – статистически значимое отличие между МВЛ до ГВТ и через 1 неделю ГВТ при $p < 0,05$.

** – статистически значимое отличие между МВЛ до ГВТ и через 3 недели ГВТ при $p < 0,005$. *** – статистически значимое отличие между МВЛ до ГВТ и через 4 недели ГВТ при $p < 0,001$

Следовательно, величина МВЛ спортсменов повышалась статистически значимо в ходе ГВТ. Это свидетельствовало об увеличении резервных возможностей внешнего дыхания спортсменов при их последующей двигательной деятельности при физических нагрузках. Ранее нами было установлено, что при ГВТ уменьшилось время форсированного выдоха, увеличилась максимальная скорость потока воздуха при форсированном выдохе и форсированном вдохе [4].

Увеличение резервных возможностей внешнего дыхания происходило за счет повышения возбудимости мотонейронов диафрагмального центра, центров межреберных нервов и центров нервов брюшного пресса. Увеличение возбудимости дыхательных мотонейронов могла способствовать форсированному дыханию спортсменов при физических нагрузках, задерживая гипоксические изменения в организме и увеличивая работоспособность спортсменов. Активация дыхательных мотонейронов происходила при одновременном возбуждении мотонейронов, улучшающих локомоторные функции спортсменов, что было исследовано нами ранее с помощью электромиографии [3, 11, 12].

Заключение. Регулярные ГВТ спортсменов, дополняющие с их двигательные тренировки, увеличивали их работоспособность при циклических нагрузках. Это было обусловлено повышением вентиля-

ционной и двигательной устойчивости спортсменов к возникающей при физической нагрузке гипоксии. Полученные результаты исследования подтверждали эффективность ГВТ с целью достижения высоких спортивных результатов [1, 2, 6, 7, 10].

ГВТ не влияла на основные статические и динамические параметры внешнего дыхания, поддерживающих гомеостаз организма спортсменов. Не изменялись частота дыхания, дыхательный объем, и минутный объем дыхания. Ранее было установлено, что ряд других гомеостатических параметров организма спортсменов также не изменяется при ГВТ [1, 2, 6]. Однако при ГВТ увеличиваются резервные возможности повышения работоспособности спортсменов [6].

Было установлено, что при ГВТ спортсменов увеличивалась максимальная вентиляция легких за счет ускорения форсированного вдоха и выдоха. Активация не только центральной части дыхательного центра [9], но и его спинальной части, управляющей межреберными мышцами и диафрагмой, могла противодействовать гипоксии при спортивной деятельности и увеличивать резервные возможности внешнего дыхания.

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. Пигарева С. Н., Классина, С. Я., Фудин Н. А. Электромиографические характеристики момента отказа от работы непрерывной интенсивности у спортсменов-любителей и лиц, занимающихся физической культурой // Вестник спортивной науки. 2020. № 2. С. 48–51.
4. Фудин Н.А., Вагин Ю.Е. Гиповентиляционные тренировки спортсменов увеличивают резервные возможности внешнего дыхания // Вестник новых медицинских технологий. 2023. №2(30). С. 64–68. DOI: 10.24412/1609-2163-2023-2-64-68.
5. Фудин Н.А., Вагин Ю.Е. Физиологические механизмы произвольной гипоксии, повышающие спортивную работоспособность // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2023. №2(17). С. 124–130. DOI: 10.24412/2075-4094-2023-2-3-4.
6. 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.
7. 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.
8. Фудин Н.А., Классина С.Я., Пигарева С.Н. Гиповентиляционная тренировка и спортивная работоспособность // Вестник спортивной науки. 2020. № 5. С. 23–26.
9. Guenet P.G., Bayliss D.A. Central respiratory chemoreception. Review. Handbook Clinical Neurology. 2022;188:37-72. DOI: 10.1016/B978-0-323-91534-2.00007-2.
10. Fornasier-Santos C., Millet G.P., Woorons X. Repeated-sprint training in hypoxia induced by voluntary hypoventilation improves running repeated-sprint ability in rugby players. European J. of sport science. 2018;18(4):504-512. DOI: 10.1080/17461391.2018.1431312.
11. Fudin N.A., Klassina S.Ya., Pigareva S.N. Relationship between the parameters of muscular and cardiovascular systems in graded exercise testing in subjects doing regular exercises and sports. Human physiology. 2015;41(4):412-419. DOI: 10.1134/S0362119715040088.
12. Fudin N.A., Klassina S.Y., Pigareva S.N., Vagin Y.E. Combined effects of hypoventilation and physical practices on muscular fatigue under submaximal exercise. Theory and Practice of Physical Culture. 2018;10:4.
13. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for medical research involving human subjects. JAMA. 2013;20(310):2191–2194. DOI: 10.1001/jama.2013.281053.

References

1. Vagin 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. Russia.

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):53–56. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-2-53-56. Russia.
3. Pigareva SN, Klassina SYa, Fudin NA. Elektromiograficheskiye kharakteristiki momenta otказа ot raboty nepreryvnoy intensivnosti u sportsmenov-lyubiteley i lits, zanimayushchikhsya fizicheskoy kul'turoy [Electromyographic characteristics of the moment of refusal to work with continuous intensity in amateur athletes and people involved in physical culture]. Vestnik sportivnoy nauki. 2020;2:48–51. Russia.
4. Fudin NA, Vagin YuE. Gipoventilyatsionnye trenirovki sportsmenov uvelichivayut rezervnye vozmozhnosti vneshnego dykhaniya [Hypoventilation training of athletes increase the reserve capabilities of external breathing]. Journal of New Medical Technologies. 2023;30(2):64-68. DOI: 10.24412/1609-2163-2023-2-64-68. Russian.
5. Fudin NA, Vagin YuE. Fiziologicheskie mehanizmy proizvod'noj gipoksii, povyshajushhie sportivnuju rabotosposobnost' [Physiological mechanisms of voluntary hypoxia increasing sports performance]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2023;17(2):124–130. DOI: 10.24412/2075-4094-2023-2-3-4. Russian.
6. 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. Russia.
7. Fudin NA, Vagin YuE, Klassina SYa. Fiziologicheskoe obosnovanie gipoventilyatsionnykh trenirovok, povyshajushhih fizicheskuyu 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. Russia.
8. Fudin NA, Klassina SYa, Pigareva SN. Gipoventilyatsionnaya trenirovka i sportivnaya rabotosposobnost' [Hypoventilation training and sports performance]. Vestnik sportivnoy nauki. 2020;5:23–26. Russia.
9. Guyenet PG, Bayliss DA. Central respiratory chemoreception. Review. Handbook Clinical Neurology. 2022;188:37-72. DOI: 10.1016/B978-0-323-91534-2.00007-2.
10. Fornasier-Santos C, Millet GP, Woorons X. Repeated-sprint training in hypoxia induced by voluntary hypoventilation improves running repeated-sprint ability in rugby players. European J. of sport science. 2018;18(4):504-512. DOI: 10.1080/17461391.2018.1431312.
11. Fudin NA, Klassina SYa, Pigareva SN. Relationship between the parameters of muscular and cardiovascular systems in graded exercise testing in subjects doing regular exercises and sports. Human physiology. 2015;41(4):412-419. DOI: 10.1134/S0362119715040088.
12. Fudin NA, Klassina SY, Pigareva SN, Vagin YE. Combined effects of hypoventilation and physical practices on muscular fatigue under submaximal exercise. Theory and Practice of Physical Culture. 2018;10:4.
13. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for medical research involving human subjects. JAMA. 2013;20(310):2191–2194. DOI: 10.1001/jama.2013.281053.

Библиографическая ссылка:

Фудин Н.А., Вагин Ю.Е., Быкова Е.В. Работоспособность спортсменов и роль системы дыхания при гиповентиляционных тренировках // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2024. №3. Публикация 3-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2024-3/3-3.pdf> (дата обращения: 27.05.2024). DOI: 10.24412/2075-4094-2024-3-3-3. EDN HOXKAY*

Bibliographic reference:

Fudin NA, Vagin YuE, Bykova EV. Rabotosposobnost' sportsmenov i rol' sistemy dyhaniya pri gipoventilyatsionnykh trenirovках [Performance of athletes and the role of the respiratory system in hypoventilation training]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2024 [cited 2024 May 27];3 [about 6 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2024-3/3-3.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2024-3-3-3. EDN HOXKAY

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2024-3/e2024-3.pdf>

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