



ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГИПОВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРЕНИРОВОК, ПОВЫШАЮЩИХ ФИЗИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

Н.А. ФУДИН, Ю.Е. ВАГИН, С.Я. КЛАССИНА

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

Аннотация. Физиологические способы и механизмы управления внутренним звеном функциональной системы дыхания за счет произвольного управления внешним звеном недостаточно изучены. **Цель исследования** – проверить в экспериментальном исследовании физиологическую обоснованность эффективности сочетанных гиповентиляционных тренировок. **Материалы и методы исследования.** 17 спортсменов обучали гиповентиляционному ритму дыхания в течение 16 дней, которое дополняло их регулярные физкультурные тренировки. До, в процессе и после гиповентиляционных тренировок регистрировали длительность максимальной произвольной задержки дыхания в покое и при физической нагрузке, а также количество приседаний на фоне максимальной произвольной задержки дыхания. **Результаты и их обсуждение.** После окончания гиповентиляционных тренировок у спортсменов длительность максимальной произвольной задержки дыхания увеличилась на $62 \pm 9\%$ в состоянии физического покоя и на $32 \pm 5\%$ при приседаниях, также увеличилось количество приседаний на фоне максимальной произвольной задержки дыхания на $43 \pm 5\%$. **Заключение.** Гипоксическая тренировка увеличивает вентиляторную и двигательную гипоксическую устойчивость спортсменов, и в итоге увеличивается их работоспособность при физической нагрузке. Установлена физиологическую целесообразность и эффективность сочетанных с физическими упражнениями гиповентиляционных тренировок.

Ключевые слова: гиповентиляционные тренировки, задержка дыхания.

PHYSIOLOGICAL SUBSTANTIATION OF HYPOVENTILATION TRAININGS, INCREASING PHYSICAL WORKABILITY

N.A. FUDIN, Yu.E. VAGIN, S.Ya. CLASSINA

Federal State Budgetary Scientific Institution "Scientific Research Institute of Normal Physiology named
after A.I. P. K. Anokhin, Baltiyskaya Str., 8, Moscow, 125315, Russia,
e-mail: nphys@nphys.ru, yuvaguine@yandex.ru

Abstract. Physiological methods and mechanisms for controlling the internal link of the functional respiratory system due to arbitrary control of the external link have not been sufficiently studied. **The research purpose** was to test the physiological validity of the effectiveness of combined hypoventilation training in an experimental study. **Materials and research methods.** 17 athletes were taught the hypoventilation breathing rhythm for 16 days, which supplemented their regular physical training. Before, during and after hypoventilation training, the duration of the maximum voluntary breath holding at rest and during exercise, as well as the number of squats against the background of the maximum voluntary breath holding, were recorded. **Results and its discussion.** After the end of hypoventilation training in athletes, the duration of the maximum voluntary breath holding increased by $62 \pm 9\%$ in the state of physical rest and by $32 \pm 5\%$ during squats, the number of squats also increased against the background of the maximum voluntary breath holding by $43 \pm 5\%$. **Conclusion.** Hypoxic training increases the ventilatory and motor hypoxic resistance of athletes, and as a result, their performance increases during physical exertion. The physiological feasibility and effectiveness of hypoventilation training combined with physical exercises has been established.

Keywords: hypoventilation training, breath holding.

Введение. Регуляция функциональной системы дыхания (ФСД) направлены на создание оптимального уровня легочной вентиляции, обеспечивающей метаболические и энергетические потребности организма. При этом формируется наиболее экономный паттерн дыхания, адаптированный к индивидуальным морфофункциональным свойствам и особенностям вентиляторно-газообменного аппарата человека. При этом ведущим звеном системы регуляции дыхания выступают механорецепторы легких и воздухоносных путей, а также дыхательных мышц. Поступающие рефлексы с этих рецепторов выполняют физиологическую функцию обратных связей между центральным дыхательным механизмом и эффектором – респираторной мускулатурой [3, 9, 11]. Таким образом механорецепторы легких, воздухоносных путей и респираторной мускулатуры участвуют в регуляции длительности фаз дыхательного цикла и силы сокращения дыхательных мышц.

Научно доказано, что активность ФСД у человека подчиняется контролю со стороны коры больших полушарий мозга. Кортикализация дыхания у человека связана с участием дыхательного аппарата в локомоторных и познотонических актах, а также его участием в речевой функции и произвольной регу-

ляции дыхания. Из всех висцеральных систем организма ФСД является самой кортикализованной, так как ее функция подчинена ритмическим стимулам из стволовых структур дыхательного центра. Следствием такой высокой кортикализации дыхания является способность человека в определенных условиях ощущать свои дыхательные движения, а, при необходимости, осознанно управлять ими. При этом ФСД является неотъемлемой частью двигательной сферы организма, а поскольку все респираторные мышцы относятся к произвольным, то человек при необходимости может сознательно контролировать и управлять своими дыхательными движениями [10, 12].

Так как дыхательные и двигательные действия человека тесно взаимосвязаны и подвержены условно-рефлекторным влияниям – возможно предположение о целесообразности сочетания тренировок ритмической произвольной гиповентиляции с ритмом произвольных физических упражнений, с эффектом оптимизации физиологических взаимоотношений функциональных систем организма, обеспечивающих устойчивость моторных и вегетативных функций человека к гипоксическим и гиперкапническим воздействиям. При гиповентиляционном влиянии на внешнее звено саморегуляции дыхания изменяются константный уровень газовых показателей и в альвеолярном воздухе, и в артериальной крови легочных сосудов, что через рецепторы сосудистого русла активно стимулирует дыхательный центр. Обратная афферентация от альвеол выступает в роли целенаправленного фактора перестроек газового гомеостаза, в результате которых ЦНС может регулировать командно-приспособительные механизмы организма человека при сочетанных гиповентиляционных воздействиях на внешнее звено саморегуляции дыхания.

Многообразная обратная афферентация, направляясь к дыхательному центру из различных периферических источников и включаясь в различной последовательности, объединяет нервные и гуморальные механизмы, формирующие более эффективные вентиляторно-газообменные взаимоотношения на новом физиологическом уровне. Гиповентиляция, снижающая частоту дыхания, дыхательный объем и минутный объем дыхания, изменяет парциальное давление кислорода и углекислого газа в альвеолярном воздухе, обеспечивая прямое воздействие на внутреннее звено саморегуляции дыхания и его гомеостатические показатели. При этом оба звена данной функциональной системы (внешнее и внутреннее) функционируют в слаженном взаимодействии. Это позволяет предположить правомерность управления внутренним звеном саморегуляции за счет внешнего звена данной ФСД [1-8].

Поскольку дыхательные и локомоторные действия у человека тесно взаимосвязаны и подвержены произвольным влияниям, гиповентиляционные тренировки в сочетании с физическими упражнениями оптимизируют физиологические взаимоотношения различных функциональных систем организма, направленные на увеличение устойчивости к двигательной и вентиляционной гипоксии, что существенно повышает физическую работоспособность. При этом в ФСД происходят изменения, сопровождающиеся повышением коэффициента использования кислорода, что обеспечивает оптимизации внешнего дыхания и газообмена на основе принципа биоэкономики [1].

Цель исследования – проверить в экспериментальном исследовании физиологическую обоснованность эффективности сочетанных гиповентиляционных тренировок.

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 [13].

Контингент обследуемых спортсменов. Было обследовано 17 спортсменов, занимающихся физической культурой и спортом в рамках вузовской программы, в возрасте 18–23 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.

Дизайн исследования. На протяжении 16 дней утром, днем и вечером в течение часа спортсмены изменяли ритм дыхания, делая вдох за 1–2 с, выдох – за 2–3 с и паузу – за 5–7 с. Перед началом и после окончания измененного ритма дыхания спортсмены измеряли длительность максимальной произвольной задержки дыхания (ЗД) на вдохе, фиксируя ее в дневнике спортсмена.

Помимо общепринятых физкультурных двухчасовых тренировок два раза в неделю спортсмены дополнительно проводили гиповентиляционные тренировки под руководством экспериментатора. Ежедневно в течение двух часов с интервалами отдыха по 5–7 мин многократно выполняли физические упражнения (глубокие приседания) во время произвольной максимальной ЗД.

До, в процессе и после гиповентиляционной тренировки регистрировали длительность максимальной произвольной ЗД в покое и при физической нагрузке, а также количество приседаний на фоне максимальной произвольной ЗД.

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. **Длительность максимальной произвольной ЗД в покое.** На 8 день гиповентиляционной тренировки у спортсменов в состоянии физического покоя длительность максимальной произвольной ЗД увеличилась на $25 \pm 9\%$ при статистической значимости отличия от исходной

величины $p=0,02$ и на 16 день тренировки – на $62\pm 9\%$ при статистической значимости отличия $p=0,000005$ (табл.). Следовательно, гипоксическая тренировка увеличила вентиляционную гипоксическую устойчивость спортсменов в состоянии покоя при максимальной произвольной ЗД.

Длительность максимальной произвольной ЗД при физической нагрузке. На 8 день гиповентиляционной тренировки у спортсменов при приседаниях длительность максимальной произвольной ЗД увеличилась на $12\pm 5\%$ при статистической значимости отличия от исходной величины $p=0,0049$ и на 16 день тренировки – на $32\pm 5\%$ при статистической значимости отличия $p=0,000003$ (табл.). Следовательно, гипоксическая тренировка увеличила вентиляционную гипоксическую устойчивость спортсменов при интенсивной физической работе на фоне максимальной произвольной ЗД.

Работоспособность на фоне максимальной произвольной ЗД. На 8 день гиповентиляционной тренировки у спортсменов на фоне максимальной произвольной ЗД увеличилось количество приседаний на $21\pm 7\%$ при статистической значимости отличия от исходной величины $p=0,016$ и на 16 день тренировки – на $43\pm 5\%$ при статистической значимости отличия $p=0,000003$ (таблица). Следовательно, гиповентиляционные тренировки увеличили двигательную гипоксическую устойчивость спортсменов при интенсивной физической работе на фоне ЗД.

Таким образом, гиповентиляционные тренировки увеличили вентиляционную и двигательную гипоксическую устойчивость спортсменов, и в итоге увеличили их работоспособность при физической нагрузке на фоне максимальной произвольной ЗД.

Таблица

Длительность максимальной произвольной ЗД в покое и при физической нагрузке, а также количество приседаний на фоне максимальной произвольной ЗД до и в ходе гиповентиляционной тренировки (ГВТ)

	Максимальная произвольная ЗД в покое	Максимальная произвольная ЗД при приседаниях	Число приседаний на фоне максимальной произвольной ЗД
До ГВТ	$58,8\pm 4,2$	$29,6\pm 1,2$	$21,6\pm 1,3$
На 8 день ГВТ	$73,2\pm 5,3^{**}$	$33\pm 1,6^{**}$	$26\pm 1,5^*$
На 16 день ГВТ	$95,5\pm 6,4^{***}$	$39,2\pm 1,6^{***}$	$30,8\pm 1,2^{***}$

Примечание: * – статистическая значимость отличия от исходной величины при $p<0,05$,
 ** – при $p<0,005$ и *** – при $p<0,001$

Заключение. Проведенные исследования сочетанных гиповентиляционных тренировок выявили физиологическую интеграцию моторных и вегетативных функций, формирующих на основе афферентного синтеза с перекрещивающимися взаимными влияниями многочисленных функциональных систем организма. В результате достаточно длительного воздействия на дыхательный центр повышенного содержания двуокиси углерода формируются принципиально новые собственные компенсаторные механизмы физиологической саморегуляции, обеспечивающие повышенную физическую работоспособность. Экспериментальные исследования произвольной гиповентиляции, а также максимальной произвольной ЗД в покое и при выполнении физических упражнений показали физиологическую целесообразность и эффективность сочетанных с физическими упражнениями гиповентиляционных тренировок.

Литература

1. Агаджанян С.А., Катков А.Ю. Пути повышения устойчивости человека к острой гипоксии // Физиология человека. 1983. № 4(8). С. 519–520.
2. Бреслав И.С. Произвольное управление дыханием у человека. Л.: Наука, 1975. 151с.
3. Бреслав И.С., Волков Н.И., Тамбовцева Р.В. Дыхание и мышечная активность человека в спорте. М.: Советский спорт, 2013. 336 с.
4. Бреслав И.С. Паттерны дыхания: физиология, экспериментальные состояния, патология. Л.: Наука, 1984. 206 с.
5. Катков А.Ю. Произвольная гиповентиляция в условиях гипоксии. В кн. «Специальная и клиническая физиология гипоксических состояний». Киев, 1979. Ч. 2. С. 227–229.
6. Кучкин С.Н. Резервы дыхательной системы при различных условиях аэробной производительности // Физиология человека. 1983. № 3(9). С. 416–417.
7. Фудин Н.А., Классина С.Я., Пигарева С.Н. Сочетанные влияния гиповентиляционных и физических упражнений на степень мышечного утомления при работе до отказа // Теория и практика физической культуры. 2018. № 10. С. 10–12.
8. Фудин Н.А. Системные перестройки газового гомеостаза в условиях произвольно программируемой дыхательной деятельности человека. В кн. «Физиологические механизмы адаптации к мышечной деятельности», 1988. С. 364–365.

9. Фудин Н.А., Хадарцев А.А., Орлов В.А. Медико-биологические технологии в физической культуре и спорте. Москва, 2018. 163 с.
10. Хадарцев А.А., Фудин Н.А. Психоэмоциональный стресс в спорте. физиологические основы и возможности коррекции (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. № 3. Публикация 8-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5256.pdf> (дата обращения: 30.09.2015). DOI: 10.12737/13378.
11. Хадарцев А.А. Не медикаментозные технологии. Рефлексотерапия, гирудотерапия, фитотерапия, физиотерапия. Saarbrücken, 2012.
12. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Зилов В.Г. Новые подходы в теоретической биологии и медицине на базе теории хаоса и синергетики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2006. Т. 5, № 3. С. 617–622.
13. 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. Agadzhanjan SA, Katkov AYu. Puti povysheniya ustojchivosti cheloveka k ostroj gipoksii [Ways to increase human resistance to acute hypoxia]. Fiziologija cheloveka. 1983;4(8):519-20. Russian.
2. Breslav IS. Proizvol'noe upravlenie dyhaniem u cheloveka [Arbitrary control of breathing in humans]. Leningrad: Nauka; 1975. Russian.
3. Breslav IS, Volkov NI, Tambovceva RV. Dyhanie i myshechnaja aktivnost' cheloveka v sporte [Respiration and human muscular activity in sports]. Moscow: Sovetskij sport; 2013. Russian.
4. Breslav IS. Patterny dyhanija: fiziologija, jeksperimental'nye sostojanija, patologija [Breathing patterns: physiology, experimental conditions, pathology]. Leningrad: Nauka; 1984. Russian.
5. Katkov AYu. Proizvol'naja gipoventiljacija v uslovijah gipoksii [Arbitrary hypoventilation in hypoxia. In the book. "Special and clinical physiology of hypoxic states"]. V kn. «Special'naja i klinicheskaja fiziologija gipoksicheskikh sostojanij». Kiev; 1979. Russian.
6. Kuchkin SN. Rezervy dyhatel'noj sistemy pri razlichnyh uslovijah ajerobnoj proizvoditel'nosti [Reserves of the respiratory system under various conditions of aerobic performance]. Fiziologija cheloveka. 1983;3(9):416-7. Russian.
7. Fudin NA, Klassina SJa, Pigareva SN. Sochetannye vlijanija gipoventiljacionnyh i fizicheskikh uprazhnenij na stepen' myshechnogo utomlenija pri rabote do otkaza [Combined effects of hypoventilation and physical exercises on the degree of muscle fatigue when working to failure]. Teorija i praktika fizicheskoj kul'tury. 2018;10:10-2. Russian.
8. Fudin NA. Sistemnye perestrojki gazovogo gomeostaza v uslovijah proizvodno programmiruemoj dyhatel'noj dejatel'nosti cheloveka [Systemic rearrangements of gas homeostasis in conditions of arbitrarily programmed human respiratory activity]. V kn. «Fiziologicheskie mehanizmy adaptacii k myshechnoj dejatel'nosti»; 1988. Russian.
9. Fudin NA, Hadarcev AA, Orlov VA. Mediko-biologicheskie tehnologii v fizicheskoj kul'ture i sporte [Biomedical technologies in physical culture and sports]. Moscow; 2018. Russian.
10. Hadarcev AA, Fudin NA. Psihoemocional'nyj stress v sporte. fiziologicheskie osnovy i vozmozhnosti korrekcii (obzor literatury) [Psychoemotional stress in sports. physiological bases and possibilities of correction (literature review)]. Vestnik novyh medicinskih tehnologij. Jelektronnoe izdanie. 2015 [cited 2015 Sep 30];3 [about 7 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5256.pdf>. DOI: 10.12737/13378.
11. Hadarcev AA. Ne medikamentoznye tehnologii [Non-medicinal technologies]. Refleksoterapija, girudoterapija, fitoterapija, fizioterapija. Saarbrücken; 2012. Russian.
12. Hadarcev AA, Es'kov VM, Zilov VG. Novye podhody v teoreticheskoj biologii i medicine na baze teorii haosa i sinergetiki [New approaches in theoretical biology and medicine based on chaos theory and synergetics]. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. 2006;5(3):617-22. Russian.
13. 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., Классина С.Я. Физиологическое обоснование гиповентиляционных тренировок, повышающих физическую работоспособность // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2022. №5. Публикация 3-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2022-5/3-1.pdf> (дата обращения: 13.09.2022). DOI: 10.24412/2075-4094-2022-5-3-1. EDN PORJPO*

Bibliographic reference:

Fudin NA, Vagin YuE, Classina SYa. Fiziologicheskoe obosnovanie gipoventiljacionnyh trenirovok, povyshajushhih fizicheskuju rabotosposobnost' [Physiological substantiation of hypoventilation trainings, increasing physical workability]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2022 [cited 2022 Sep 13];5 [about 4 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2022-5/3-1.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2022-5-3-1. EDN PORJPO

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2022-5/e2022-5.pdf>

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