

Влияние произвольного гиповентиляционного дыхания на функциональное состояние и физическую работоспособность человека при различных по интенсивности режимах физической нагрузки до отказа

¹Н. А. ФУДИН, ¹С. Я. КЛАССИНА, ²Ю. Е. ВАГИН, ¹С. Н. ПИГАРЕВА

¹ФГБНУ Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина, Москва, Россия

²ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

Сведения об авторах:

Фудин Николай Андреевич – заместитель директора по научной работе ФГБНУ НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина, член-корр. РАН, д.б.н., проф.

Классина Светлана Яковлевна – ведущий научный сотрудник лаборатории системных механизмов спортивной деятельности ФГБНУ НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина, к.б.н.

Вагин Юрий Евгеньевич – профессор кафедры нормальной физиологии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), д.м.н.

Пигарева Светлана Николаевна – старший научный сотрудник лаборатории системных механизмов спортивной деятельности ФГБНУ НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина, к.б.н.

Influence of voluntary hypoventilation breathing on the functional state and physical working capacity of a person at different intensity regimes of physical load

¹N. A. FUDIN, ¹S. YA. KLASSINA, ²YU. E. VAGIN, ¹S. N. PIGAREVA

¹P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia

²Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

Information about the authors:

Nikolay Fudin – D.Sc. (Biology), Prof., Corresponding Member of RAS, Deputy Director of the P.K. Anokhin Institute of Normal Physiology
Svetlana Klassina – Ph.D. (Biology), Leading Researcher of the Laboratory of Systemic Mechanisms of Sports Activity of the P.K. Anokhin Institute of Normal Physiology

Yuriy Vagin – M.D., D.Sc. (Medicine), Professor of the Department of Normal Physiology of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Svetlana Pigareva – Ph.D. (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of Systemic Mechanisms of Sports Activity of the P.K. Anokhin Institute of Normal Physiology

Цель исследования: изучение влияния произвольного гиповентиляционного дыхания на функциональное состояние и работоспособность человека при различной физической нагрузке на велоэргометре до отказа. **Материалы и методы:** в обследовании приняли участие 14 юношей-добровольцев, которые выполняли физическую работу на велоэргометре до отказа. Обследования проводили 4 раза: 2 раза до обучения произвольному гиповентиляционному дыханию и 2 раза после. Произвольному гиповентиляционному дыханию обучали 30 дней. В основе обучения произвольному гиповентиляционному дыханию лежали дыхательные тренировки, направленные на формирование у испытуемого уреженного дыхания. Состояние испытуемых исследовали последовательно в покое, при разминке 60 Вт, нагрузке и восстановлении после нагрузки. Физическая нагрузка была при 120 Вт или 160 Вт. При нагрузке записывали ЭКГ в двух отведениях: I стандартном и V5 грудном. Одновременно регистрировали пневмограмму и ЭМГ с четырехглавой мышцы правого бедра. Измеряли время физической работы до отказа. До и после обследования измеряли длительности задержек дыхания на вдохе. **Результаты:** произвольное гиповентиляционное дыхание повышало гипоксическую устойчивость и физическую работоспособность испытуемых при нагрузке 120 Вт и 160 Вт. Чем больше нагрузка, тем меньше было время физической работы до отказа. Отказ от продолжения физической работы происходил сразу после преодоления порога аэробно-анаэробного обмена. В отличие от физической нагрузки 120 Вт, нагрузка 160 Вт сопровождается более высокой

возбудимостью синусового узла на ЭКГ, замедлением внутрижелудочкового проведения, более высоким уровнем симпатических влияний на сердце, но лучшим кислородным обеспечением миокарда. **Выводы:** чем больше интенсивность физической нагрузки, тем более выражены адаптивные сдвиги в организме испытуемых под воздействием произвольного гиповентиляционного дыхания.

Ключевые слова: спорт; физическая нагрузка до отказа; произвольное гиповентиляционное дыхание; физическая работоспособность.

Для цитирования: Фудин Н.А., Классина С.Я., Вагин Ю.Е., Пигарева С.Н. Влияние произвольного гиповентиляционного дыхания на функциональное состояние и физическую работоспособность человека при различных по интенсивности режимах физической нагрузки до отказа // Спортивная медицина: наука и практика. 2017. Т.7, №2. С. 5-11. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2017.2.5.

Objective: to study the effect of voluntary hypoventilation breathing on the functional state and physical working capacity of a person under various physical load on a bicycle ergometer to failure. **Materials and methods:** in the survey 14 young volunteers took part in the survey performing physical work on the bicycle ergometer to the point of refusal. Surveys were conducted 4 times: 2 times before training in voluntary hypoventilation breathing and 2 times after. Voluntary hypoventilation breathing was taught for 30 days. Breathing trainings aimed at forming a subject's narrowed breathing underlined the training of voluntary hypoventilation breathing. The subjects' condition was examined sequentially during rest, 60 W warm-up, physical load and recovery after the load. The physical load was at 120 W or 160 W. During work ECG was recorded in two leads: I standard and V5 thoracic. Simultaneously, a pneumogram and EMG from the quadriceps muscle of the right thigh was recorded. The time of physical work to failure was measured. Before and after the examination, the breath-holding time by inhalation was measured. **Results:** voluntary hypoventilation breathing increased the hypoxic stability and physical working capacity of the subjects at 120 W and 160 W loads. The greater the load, the shorter the time of physical work to failure. Refusal to continue physical work occurred immediately after overcoming the threshold of aerobic-anaerobic metabolism. In contrast to the 120 W physical load, the 160 W load is accompanied by a higher excitability of the ECG sinus node, slower intraventricular conduction, a higher level of sympathetic influences on the heart, but a better oxygen supply of the myocardium. **Conclusions:** the greater intensity of physical activity, the more pronounced adaptive shifts in the body of subjects under the influence of voluntary hypoventilation breathing.

Key words: sports; physical load to failure; voluntary hypoventilation breathing; physical working capacity.

For citation: Fudin NA, Klassina SYa, Vagin YuE, Pigareva SN. Influence of voluntary hypoventilation breathing on the functional state and physical working capacity of a person at different intensity regimes of physical load. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2017;(2):5-11. (in Russian). DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2017.2.5.

Введение

Вентиляторная и двигательная гипоксия – это стимулятор активности практически всех физиологических процессов в организме человека, направленных на компенсаторное повышение его функциональных резервов [1-4]. Показано, что при выполнении физической работы до отказа на ступени нагрузки 120 Вт произвольное гиповентиляционное дыхание повышает устойчивость испытуемого к вентиляторной и двигательной гипоксии, усиливает симпатические влияния, увеличивает минутный объем кровотока, улучшает утилизацию кислорода тканями, «экономизирует» дыхание, повышает его физическую работоспособность [5]. Однако вопрос о влиянии произвольного гиповентиляционного дыхания на функциональное состояние и работоспособность человека при физической нагрузке большей интенсивности до сих пор остается открытым.

Целью данного исследования являлось изучение влияния произвольного гиповентиляционного дыхания на функциональное состояние и работоспособность человека при различных по интенсивности режимах физической нагрузки.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 14 практически здоровых добровольцев, лиц мужского пола в возрасте 18-24 года, регулярно занимающихся физической культурой. Каждый из них участвовал в обследованиях 4 раза: 2 раза до обучения произвольному гиповентиляционному дыханию (ГВД) и 2 раза после, где им было предложено выполнить физическую работу на велоэргометре до отказа. Обследования были однотипными и

различались лишь величиной мощности нагрузочного тестирования – 120 Вт или 160 Вт.

Между 2-ым и 3-им обследованием в течение 30 дней испытуемые обучались ГВД. В основе обучения ГВД лежали дыхательные тренировки, направленные на формирование у испытуемого уреженного дыхания. Обучение происходило на основе словесной инструкции, 3 раза в неделю по 1,5-2 часа по схеме: вдох – 1,2 с, выдох – 1,5 с, пауза после выдоха – (7-10 с).

В процессе обследования испытуемые пребывали в следующих функциональных состояниях: «исходный фон» (2,5 мин), когда испытуемый находился в седле велоэргометра, но не вращал педали; «разминка-60 Вт» (2 мин); «нагрузочное тестирование» на фоне постоянной скорости вращения педалей – 1 об/с. Длительность нагрузочного тестирования определялась отказом самого испытуемого от продолжения физической работы (Т-отказ, с); «восстановление» (6 мин).

Для нагрузочного тестирования был использован велоэргометр «Sports Art 5005», а само тестирование проводили под контролем электрокардиографии (ЭКГ) и пневмографии (ПГ) (компьютерный электрокардиограф «Поли-Спектр-8», «Нейрософт», Иваново). ЭКГ регистрировали в I стандартном отведении и отведении «V5». На основе анализа ЭКГ оценивали частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин), величины зубцов (P, Q, R, S, T) и сегментов (QRS, ST), а на основе пневмограммы – частоту дыхания (ЧД, 1/мин). Производили регистрацию поверхностной суммарной ЭМГ (компьютерный электромиограф «Синапс» – «Нейротех», Таганрог) с четырехглавой мышцы правого бедра с последующим анализом средней амплитуды поверхностной ЭМГ (Асп, мВ)

и количества турнов (число колебаний потенциала ЭМГ с амплитудой более 100 мкВ) [6]. Кроме того, измеряли задержки дыхания на вдохе (з/д, с).

Регистрация показателей ЭКГ, ПГ и ЭМГ производилась в каждом из указанных состояний в последние 30 с. Для регистрации реальной скорости вращения педалей (V, км/час) был использован прибор «SIGMA – bc-509» (Germany), датчик которого крепился к педали велоэргометра.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием непараметрических критериев. Достоверность различия одноименных показателей определяли на основе критерия Вилкоксона. Все обследуемые были заблаговременно проинформированы о характере предлагаемого эксперимента и дали письменное согласие на участие в исследованиях. Программа эксперимента была одобрена Комиссией по биомедицинской этике НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина.

Результаты исследования и их обсуждение

Функциональное состояние и физическая работоспособность зависят как от возраста и уровня тренированности спортсмена, так и от интенсивности выполняемой им физической работы. Данное исследование проведено на однородной группе испытуемых: возраст – $19,1 \pm 0,3$ лет, рост – $179,9 \pm 2,0$ (171-190) см, а вес – $75,2 \pm 2,6$ (58-95) кг. Им было предложено выполнить физическую работу до отказа на велоэргометре на ступенях мощности 120 и 160 Вт.

Показано, что в зоне умеренных нагрузок (120 Вт) ГВД повышает физическую работоспособность испытуемых [7]. Будет ли сохраняться полученный эффект, если мощность физической нагрузки будет увеличена?

С этой целью проведен сравнительный анализ времени работы испытуемых до отказа при нагрузках 120 Вт и 160 Вт. На рисунке 1 представлены средние значения времени работы до отказа (Т-отк, с) при нагрузке 120 и 160 Вт до и после обучения ГВД.

Из рис. 1 видно, что при работе на одной и той же мощности нагрузки показатель Т-отк после обучения ГВД достоверно увеличивается, причем для ступени мощности 120 Вт: с $545,5 \pm 104,8$ до $901,7 \pm 216,6$ с ($p < 0,05$), для ступени мощности 160 Вт - с $113,8 \pm 17,1$ до $177,5 \pm 32,0$ с ($p < 0,05$). При этом относительный сдвиг показателя Т-отк составляет 65% и 56% соответственно. Следовательно, ГВД способствует достоверному росту физической работоспособности испытуемых при обеих мощностях нагрузок.

Если до обучения ГВД повышение мощности нагрузки с 120 Вт до 160 Вт сопровождалось снижением показателя Т-отк с $545,5 \pm 104,8$ до $113,8 \pm 17,1$ с ($p < 0,05$), то после обучения ГВД - с $901,7 \pm 216,6$ до $177,5 \pm 32,0$ с ($p < 0,05$). Отсюда следует, что чем больше мощность физической нагрузки, тем меньше временная длительность работы до отказа на ней. Таким образом, ГВД способствует достоверному росту физической работоспособности испытуемых, однако ее прирост будет снижаться по мере роста интенсивности нагрузки.

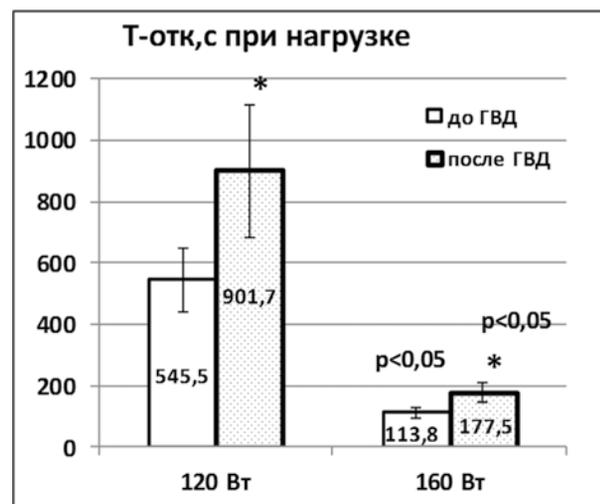


Рис. 1. Средние значения времени работы испытуемых до отказа (Т-отк, с) при нагрузке 120 и 160 Вт до (белые столбики) и после (узурчатые столбики) обучения ГВД. Обозначения: * - $p < 0,05$ – достоверность различия показателя Т-отк при одной и той же мощности нагрузки до и после ГВД; $p < 0,05$ – достоверность различия показателя Т-отк для нагрузочной мощности 120 Вт и 160 Вт до и после ГВД

Рис. 1. Average time values of the subjects to failure (T-TCI) at a load of 120 and 160 W to (white bars) and after (pattered bars) training of GVD. Designations: * - $p < 0,05$ – reliability of differences in the rate of T-OTK with the same power load before and after GVD; $p < 0,05$ – reliability of differences in the rate of T-OTK for a load capacity of 120 W and 160 W before and after HIG

Известно, что с ростом интенсивности физической нагрузки меняется механизм энергетического обмена – с аэробного (кислородного механизма) на анаэробный (бескислородный механизм). В последнем случае энергия вырабатывается в бескислородных условиях, а, следовательно, на фоне кислородного долга растет уровень молочной и фосфорной кислоты в крови, меняется рН крови и т.п., в результате чего спортсмен вынужден снизить мощность работы или прекратить ее полностью, отказываясь от продолжения физической работы. Момент перехода от аэробного к анаэробному виду энергетического обмена определен как «порог анаэробного обмена» - ПАНО [8].

При интенсивной физической нагрузке «доставку» кислорода тканям обеспечивают сердечнососудистая система и система дыхания, в которых основными информативными показателями являются ЧСС и ЧД. ЧСС, измеряемая в процессе выполнения физической нагрузки, является динамичным показателем, который находится под контролем нервной, гуморальной и интракардиальной рефлекторной регуляции [9]. Кроме того, эффективность работы этих систем может также модулироваться и внешними факторами, такими как, произвольное гиповентиляционное дыхание [1]. Проведем сравнительный анализ показателей ЧСС и ЧД при физической работе до отказа на ступенях мощности нагрузки 120 Вт и 160 Вт до и после обучения испытуемых ГВД (табл. 1).

Таблица 1

ЧСС и ЧД в момент отказа от нагрузки 120 Вт и 160 Вт до и после обучения ГВД

Table 1

Heart rate and respiratory rate at the time of failure from the load of 120 W and 160 W before and after training HIG

		до ГВД		после ГВД	
		М	m	М	m
120 Вт	ЧСС, уд/мин	161,4	3,6	163,8	3,1
	ЧД, л/мин	28,5	1,7	27,5	1,5
160 Вт	ЧСС, уд/мин	164,2	4,1	167,6	3,9
	ЧД, л/мин	31,2	1,5	31,4	1,7

Сравнительный анализ средних значений показателя ЧСС до и после обучения ГВД позволяет говорить о наличии слабой тенденции к росту ЧСС после обучения ГВД на обеих ступенях нагрузки, что свидетельствует в пользу ГВД как средства повышения предельного уровня физических возможностей у испытуемых. При этом показатель ЧД, наоборот, имел слабую тенденцию к снижению на ступени нагрузки 120 Вт, но практически не изменился на ступени нагрузки 160 Вт. Полагаем, что именно в момент отказа от нагрузки кардиореспираторная система испытуемого достигает предела своих физиологических возможностей. Однако, если при нагрузке 120 Вт на фоне ГВД проявляется эффект «экономизации» дыхания, то при 160 Вт на фоне ГВД такого эффекта не наблюдается. Вероятно, на ступени нагрузки 160 Вт это может быть обусловлено изменением механизма энергетического обмена.

Известно, что аэробная зона физических нагрузок наиболее оптимальна для тренировки спортсменов, особенно когда интенсивность нагрузок близка к ПАНО. Показано, что предельную для аэробной зоны ЧСС в зависимости от возраста испытуемого можно прогнозировать по следующей формуле: $ЧСС_{предел} = 180 - \text{возраст (год)}$ [10]. Поскольку средний возраст наших испытуемых составил $19,1 \pm 0,3$ года, то в соответствии с формулой, величина предельной ЧСС у них должна быть равна $- 160,9$ уд/мин. Отсюда следует, что после обучения ГВД в момент отказа от нагрузок 120 Вт и 160 Вт наши испытуемые не только достигли предельной ЧСС для аэробной зоны, но и преодолели ПАНО, перейдя в аэробно-анаэробную зону энергетического обмена (табл. 1).

Электрокардиографические исследования, проводимые в процессе выполнения физической нагрузки до отказа, позволяют выявить изменения функционального состояния миокарда испытуемых в момент отказа от выполнения нагрузок 120 и 160 Вт. Учитывая, что каждое из 4-х обследований испытуемого проводилось в отдельный день, то и фоновые показатели у них были

различными. Следовательно, для проведения сравнительного анализа разумно перейти от анализа абсолютных значений показателей к относительным, т.е. к анализу сдвигов параметров ЭКГ. Поскольку нас интересует влияние ГВД на параметры ЭКГ при нагрузках 120 и 160 Вт, проведем сравнительный анализ только тех сдвигов, которые отражают изменение параметров ЭКГ в момент отказа от нагрузки после обучения ГВД. На рисунке 2 представлены эти относительные сдвиги.

Видно, что влияние ГВД на параметры ЭКГ более выражено при нагрузке 160 Вт, что подтверждается большей величиной их сдвигов. Так, при нагрузке 160 Вт по сравнению с нагрузкой 120 Вт сдвиг зубца Р был значимо больше и составил $183,9 \pm 24,7$ против $77,7 \pm 12,8$ % ($p < 0,05$). Сдвиг зубца Т был глубже, что свидетельствует в пользу более выраженных симпатических влияний на сердце [11]. При нагрузке 160 Вт по сравнению с нагрузкой 120 Вт сдвиг зубца Q был значимо меньше и составил $-52,7 \pm 45,2$ против $319,2 \pm 137,2$ % ($p < 0,05$), что позволяет говорить о лучшем обеспечении миокарда кислородом [12]. Отсюда следует, что на ступени мощности 160 Вт при физической работе до отказа, проводимой на фоне ГВД, ЧСС будет выше, а миокард будет лучше обеспечен кислородом. Вероятно, гипоксия, являясь мощным сосудорасширяющим фактором для коронарных сосудов, способствует увеличению коронарного кровотока по мере роста интенсивности физических нагрузок, в результате чего дефицит кислородного обеспечения миокарда снижается. Полагаем, что ГВД запускает огромное количество приспособительных реакций, направленных на «экономизацию» кислородтранспортных систем, усиление мозгового кровотока за счет расширения просвета мозговых сосудов при повышении CO_2 в крови [13].

Регистрация ЭМГ, проводимая в процессе выполнения физической нагрузки, позволяет оценить состояние мышечной системы в момент отказа от нагрузки при нагрузке 120 и 160 Вт. На рисунке 3 представлены средняя амплитуда и число турнов ЭМГ в момент отказа от нагрузки мощностью 120 и 160 Вт до и после обучения ГВД.

Видно, что до обучения ГВД мышечное усилие (Asp) и частота разрядов альфа-мотонейронов (число турнов) были тем больше, чем больше мощность нагрузки. Однако после обучения ГВД число турнов повышалось по мере роста мощности нагрузки, что отражает рост частоты разрядов альфа мотонейронов. Амплитуда Asp имела тенденцию к росту лишь на мощности нагрузки 120 Вт, а при нагрузке 160 Вт ее рост прекратился. Полагаем, что в момент отказа от нагрузки 160 Вт мышечное усилие (Asp) достигает своего предела, поскольку в работу уже включены и синхронизированы все двигательные единицы четырехглавой мышцы правого бедра. Обобщая сказанное, заметим, что в момент отказа от выполнения физической работы с мощностью нагрузки 160 Вт ГВД вызывает следующие отличные от нагрузки 120 Вт эффекты: сохраняет более высокую возбудимость синусового узла, адекватную мощности нагрузки (досто-

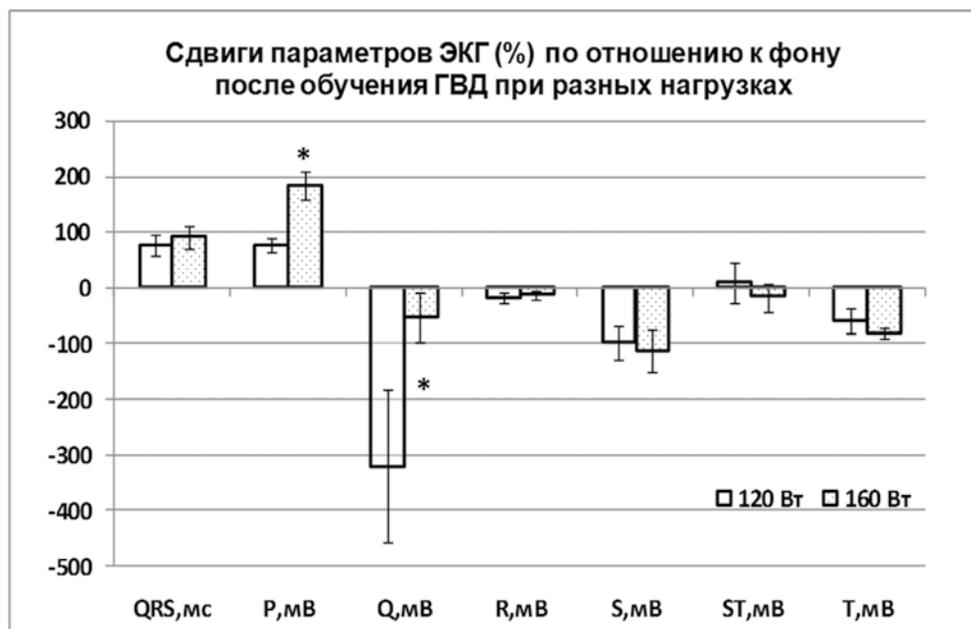


Рис. 2. Сдвиги параметров ЭКГ (%) по отношению к фону в момент отказа от нагрузки 120 Вт (белые столбики) и 160 Вт (узорчатые столбики) после обучения ГВД. Обозначения: * - $p < 0,05$ – достоверность различия показателя при мощности нагрузки 120 Вт и 160 Вт
 Pic. 2. The changes of ECG parameters (%) relative to the background at the time of failure from the load of 120 watts (white bars) and 160 W (patterned bars) after training of GVD. Designations: * - $p < 0,05$ – reliability of differences of indicator for load power of 120 W and 160 W

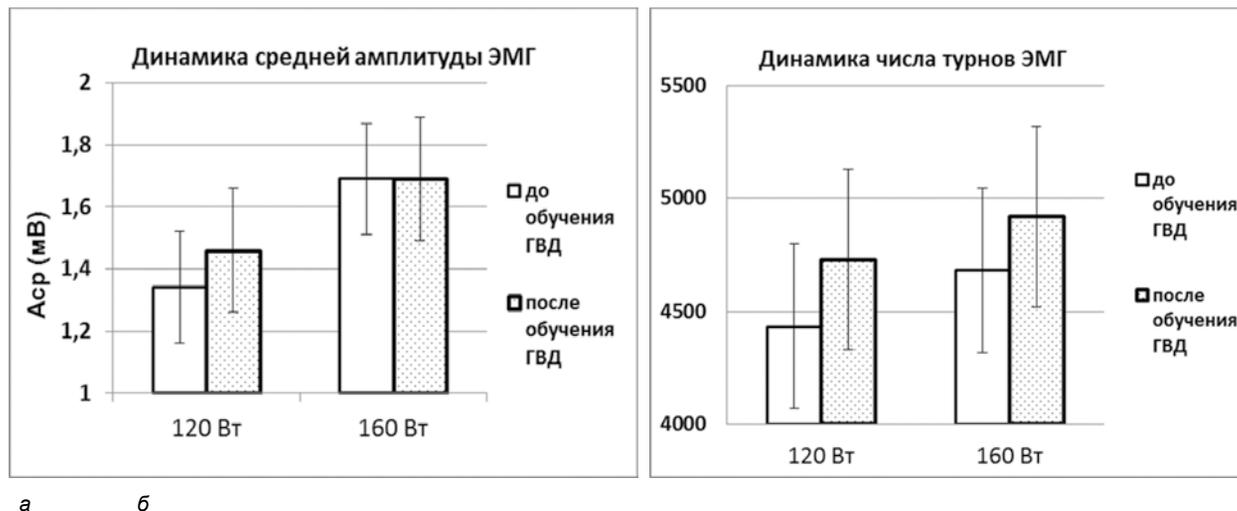


Рис. 3. Средняя амплитуда (ASr, мВ) и число турнов ЭМГ до (светлые столбики) и после (узорчатые столбики) обучения ГВД для нагрузок 120 и 160 Вт
 Pic. 3. The average amplitude (ASR, mV) and the number of available EMG before (light bars) and after (patterned bars) training of GVD for loads of 120 and 160 W

верно повышает амплитуду зубца P), замедляет внутрижелудочковое проведение, обеспечивая бесперебойную работу сердца при высоком уровне ЧСС (тенденция к удлинению длительности QRS-сегмента), улучшает кислородное обеспечение миокарда (достоверно снижает глубину зубца Q, глубина которого свидетельствует о дефиците кислородного обеспечения миокарда), способствует поддержанию высокого уровня симпатических влияний на сердце (тенденция к снижению амплитуды

зубца T), включает и синхронизирует все двигательные единицы четырехглавой мышцы правого бедра.

Об устойчивости испытуемых к гипоксии можно судить по длительности задержек дыхания у них. На рисунке 4 представлены средние значения задержек дыхания в исходном состоянии (а) и после нагрузки и восстановления (б) при нагрузках 120 и 160 Вт до (белые столбики) и после (узорчатые столбики) ГВД.

Видно, что обучение ГВД способствует достоверному увеличению длительности задержек дыхания на вдохе

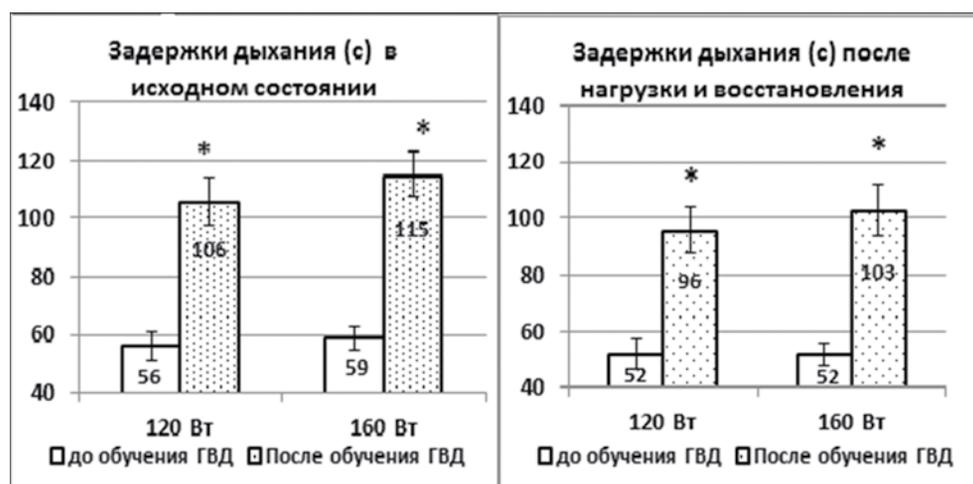


Рис. 4. Средние значения задержек дыхания в исходном состоянии и после нагрузки и восстановления при нагрузках 120 и 160 Вт до (белые столбики) и после (узорчатые столбики) ГВД. Обозначения: * - $p < 0,05$ – достоверность различия показателя до и после обучения ГВД
 Pic. 4. Average delays of breathing in the initial state and after loading and recovery at loads of 120 and 160 W to (white bars) and after (patterned bars) of GVD. Designations: * - $p < 0,05$ – reliability of differences of the parameter before and after training HIG

при любой мощности нагрузки, что говорит о повышении гипоксической устойчивости у испытуемых.

Заключение

Проведенное исследование, направленное на изучение влияния гиповентиляционного дыхания (ГВД) на функциональное состояние и работоспособность человека при мощностях нагрузки 120 и 160 Вт выявило:

1. ГВД способствует достоверному росту физической работоспособности испытуемых, однако ее прирост будет снижаться по мере роста интенсивности нагрузки.

2. Отказ от продолжения физической работы происходит практически сразу после преодоления порога аэробно-анаэробного обмена (ПАНО).

3. ГВД повышает гипоксическую устойчивость испытуемых при любой мощности нагрузки.

4. ГВД при выполнении физической работы до отказа с мощностью нагрузки 160 Вт вызывает следующие отличные от нагрузки 120 Вт эффекты:

- сохраняет высокую возбудимость синусового узла, адекватную высокой мощности нагрузки;
- замедляет внутрижелудочковое проведение, обеспечивая бесперебойную работу сердца при высоком уровне ЧСС;
- улучшает кислородное обеспечение миокарда;
- способствует поддержанию высокого уровня симпатических влияний на сердце;
- включает и синхронизирует все двигательные единицы четырехглавой мышцы правого бедра на фоне повышения частоты разрядов мотонейронов.

Таким образом, чем выше интенсивность физической нагрузки, тем более выражены адаптивные сдвиги в организме испытуемых под воздействием ГВД.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки

Funding: the study had no sponsorship

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Список литературы

1. **Фудин Н.А.** Физиологическая целесообразность произвольной регуляции дыхания у спортсменов // Теория и практика физической культуры. 1983. №2. С. 21-22.
2. **Колчинская А.З.** Дыхание при гипоксии: руководство по физиологии. Физиология дыхания. СПб.: Наука, 1994. 735 с.
3. **Фудин Н.А.** Газовый гомеостазис (произвольное формирование нового стереотипа дыхания). Тула: «Тульский полиграфист», 2004. 216 с.
4. **Гридин Н.А.** Современные представления о физиологических и лечебно-профилактических эффектах действия гипоксии и гиперкапнии // Медицина. 2016. №3. С. 45-68.
5. **Фудин Н.А., Классина С.Я., Вагин Ю.Е., Пигарева С.Н.** Физиологические эффекты влияния гиповентиляционного дыхания на кардиореспираторную и мышечную систему человека при физической работе до отказа // Спортивная медицина: наука и практика. 2016. Т.6, №3. С. 22-28. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2016.3.22.
6. **Прянишникова О.А., Городничев Р.М., Городничева Л.Р., Ткаченко А.В.** Спортивная электронейромиография // Теория и практика физической культуры. 2005. №9. С. 6
7. **Фудин Н.А., Классина С.Я., Вагин Ю.Е.** Гиповентиляционное дыхание как средство повышения физической работоспособности человека при физической работе до отказа // Теория и практика физической культуры. 2016. №12. С. 55-57.
8. **Солодков А.С., Сологуб Е.Б.** Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная: учебник. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Олимпия-Пресс, 2005. 528 с.
9. **Ландырь А.П., Ачкасов Е.Е.** Регуляция и определяющие факторы частоты сердечных сокращений в покое в спортсме-

нов // Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2012. №6. С. 47-51.

10. **Яремчук Е.Н.** Бег для всех. Доступная программа тренировок. СПб.: Издательский дом «Питер», 2015. 230 с.

11. **Судаков К.В., Синичкин В.В., Хасанов А.А.** Вегетативные реакции человека при разных режимах тепло-холодовых воздействий в условиях сауны // Физиология человека. 1987. Т.13, №1. С. 113-119.

12. **Мурашко Е.В.** Стандартная электрокардиография в педиатрической практике // Лечащий врач. 2005. №1. С. 52-57.

13. **Буланов Ю.Б.** Гипоксическая тренировка – путь к здоровью и долголетию. Тверь: Тверская жизнь, 1993. 27 с.

References

1. **Fudin NA.** Physiological feasibility of arbitrary regulation of breathing in athletes. *Teoria i praktika fizicheskoy kultury (Theory and Practice of Physical Culture)*. 1983;(2):21-22. (in Russian).

2. **Kolchinskaya AZ.** Dykhanie pri gipoksii. *Rukovodstvo po fiziologii. Fiziologiya dykhaniya*. Saint-Petersburg, Nauka, 1994. 735 p. (in Russian).

3. **Fudin NA.** Gazovyi homeostasis (proizvolnoe formirovanie novogo stereotipa dykhaniya). Tula, «Tulsky poligrafist», 2004. 216 p. (in Russian).

4. **Gridin NA.** Modern ideas about the physiological and therapeutic-prophylactic effects of influences of the hypoxia and hypercapnia. *Meditina (Medicine)*. 2016;(3):45-68. (in Russian).

5. **Fudin NA, Klassina SYa, Vagin YuE, Pigareva SN.** Physiological effects of the influence of hypoventilation breathing on the cardiorespiratory and muscular system of a person in physical work to failure. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports Medicine: Research and Practice)*. 2016;6(3):22-28. (in Russian). DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2016.3.22.

6. **Pryanishnikova OA, Gorodnichev RM, Gorodnicheva LR, Tkachenko AV.** Sport electroneuromyography. *Teoria i praktika fizicheskoy kultury (Theory and Practice of Physical Culture)*. 2005;(9):6-11. (in Russian).

7. **Fudin NA, Klassina SYa, Vagin YuE.** Hypoventilation breathing as a means of increasing the person's physical performance in physical work to failure. *Teoria i praktika fizicheskoy kultury (Theory and Practice of Physical Culture)*. 2016; (12):55-57. (in Russian).

8. **Solodkov AS, Sologub EB.** *Fiziologiya cheloveka. Obshchaya. Sportivnaya. Vozrastnaya: uchebnik*. Moscow, Olimpiya-Press.

2005. 528 p. (in Russian).

9. **Landyr AP, Achkasov EE.** Regulation and determinants of heart rate at rest in athletes. *Lechebnaya fizkultura i spornivnaya meditsina (Exercise Therapy and Sports Medicine)*. 2012;(6):47-51. (in Russian).

10. **Yaremchuk EN.** Beg dlya vseh. Dostupnaya programma trenirovki. Saint-Petersburg, Izdatelskiy dom «Piter», 2015. 230 p. (in Russian).

11. **Sudakov KV, Sinichkin VV, Khasanov AA.** Vegetative reactions of the person at different modes of heat-cold influences in the sauna conditions. *Fiziologiya cheloveka (Human Physiology)*. 1987;13(1):113-119. (in Russian).

12. **Murashko EV.** Standard electrocardiography in pediatric practice. *Lechashchiy vrach*. 2005;(1):52-57. (in Russian).

13. **Bulanov YuB.** Hipoksicheskaya trenirovka – put k zdorovyu i dolgoletiyu. Tver, Tverskaya zhizn, 1993. 27 p. (in Russian).

Ответственный за переписку:

Классина Светлана Яковлевна – ведущий научный сотрудник лаборатории системных механизмов спортивной деятельности ФГНБУ НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина, к.б.н.

Адрес: 119311, Россия, г. Москва, ул. Крупской, д. 6

Тел. (раб): +7 (495) 601 22-45

Тел. (моб): +7 (905) 547-62-34

E-mail: klassina@mail.ru

Responsible for correspondence:

Svetlana Klassina – Ph.D. (Biology), Leading Researcher of the Laboratory of Systemic Mechanisms of Sports Activity of the P. K. Anokhin Institute of Normal Physiology

Address: 6, Krupskoy St., Moscow, Russia

Phone: +7 (495) 601 22-45

Mobile: +7 (905) 547-62-34

E-mail: klassina@mail.ru

Дата направления статьи в редакцию: 12.03.2017

Received: 12 March 2017

Статья принята к печати: 29.03.2017

Accepted: 29 March 2017