

DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2018.1.32

УДК: 612.745

Гиповентиляционные тренировки в сочетании с физическими упражнениями и их влияние на функциональное состояние человека при физической работе до отказа

Н.А. Фудин¹, С.Я. Классина¹, С.Н. Пигарева¹, Ю.Е. Вагин²

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

²ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Министерство здравоохранения РФ, г. Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучить влияние гиповентиляционных тренировок в сочетании с физическими упражнениями на функциональное состояние и физическую работоспособность человека при выполнении им интенсивной физической работы до отказа. **Материалы и методы:** обследованы 18 молодых мужчин, которые были разделены на 2 группы: основную (12 человек) и контрольную (6 человек). Гиповентиляционному дыханию в сочетании с физическими упражнениями обучались только испытуемые основной группы. До и после обучения все испытуемые выполняли нагрузочное тестирование на велоэргометре до отказа под контролем ЭКГ, пневмограммы и ЭМГ. **Результаты:** у испытуемых основной группы гиповентиляционное дыхание в сочетании с физическими упражнениями повышало время работы до отказа с $165,1 \pm 25,6$ до $307,3 \pm 52,0$ с ($p < 0,05$). При этом отмечалась тенденция к снижению мышечного усилия и значимому увеличению «физиологической цены» с $118,9 \pm 8,0$ до $161,1 \pm 21,6\%$ ($p < 0,05$). У лиц контрольной группы эти показатели практически не менялись. **Выводы:** гиповентиляционное дыхание в сочетании с физическими упражнениями повышает физическую работоспособность испытуемых, однако это требует от организма увеличения «физиологической цены».

Ключевые слова: гиповентиляционные тренировки, физическая работоспособность, функциональное состояние

Для цитирования: Фудин Н.А., Классина С.Я., Пигарева С.Н., Вагин Ю.Е. Гиповентиляционные тренировки в сочетании с физическими упражнениями и их влияние на функциональное состояние человека при физической работе до отказа // Спортивная медицина: наука и практика. 2018. Т.8, №1. С. 32-39. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2018.1.32.

Hypoventilation trainings combined with physical exercises and their influences on person's functional state in physical work to failure

Nikolay A. Fudin¹, Svetlana Ya. Klassina¹, Svetlana N. Pigareva¹, Yuriy E. Vagin²

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

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

ABSTRACT

Objective: to study the influence of hypoventilation's trainings combined with physical exercises on the person's functional state and its physical working capacity in physical work to failure. **Materials and methods:** 18 young men were examined, and it were divided into 2 groups: main (12 persons) and control (6 persons). Only subjects of the main group were studied to hypoventilation breathing in combination with physical exercises. Before and after the training all subjects performed load testing on a bicycle ergometer to failure under ECG, pneumogram and EMG monitoring. **Results:** hypoventilation breathing combined with physical exercises was increased the work's time to failure from $165,1 \pm 25,6$ to $307,3 \pm 52,0$ s ($p < 0.05$) in the subjects of the main group. At the same time, there was a tendency to decrease a muscle effort and a significant increasing of the «physiological price» from $118,9 \pm 8,0$ to $161,1 \pm 21,6\%$ ($p < 0.05$). These indices were remained practically unchanged in persons of the control group. **Conclusions:** hypoventilation breathing in combination with physical exercises increases the physical performance of the subjects, but it's requires increasing the «physiological price».

Key words: alpha-linolenic acid, heart rate variability, endurance, cross-country skiers

For citation: Fudin NA, Klassina SYa, Pigareva SN, Vagin YuE. Hypoventilation trainings combined with physical exercises and their influences on person's functional state in physical work to failure. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2018;8(1):32-39. Russian. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2018.1.32.

1.1 Введение

Известно, что функция дыхания в организме человека отвечает за поддержание постоянства внутренней среды. Так, например, при изменении легочной вентиляции параметры внутренней среды организма человека также меняются. Обучение произвольному гиповентиляционному дыханию (ГВД) посредством изменения его паттерна, формирует у человека новый динамический стереотип дыхания, приводящий к изменению газового состава альвеолярного воздуха и артериальной крови [1-4]. Именно гиповентиляционный тип дыхания способен повысить гипоксическую устойчивость человека при физической нагрузке, поскольку при обучении ГВД механизм дыхания модифицируется, снижается чувствительность хеморецепторов дыхательного центра и рефлексогенных зон периферических сосудов к высокому уровню CO_2 . Таким образом, гиповентиляционная дыхательная тренировка – нелекарственное средство воздействия на человека при выполнении им интенсивной физической работы.

Ранее в качестве гипоксической тренировки мы использовали методику обучения ГВД, в основе которой лежали дыхательные тренировки, направленные на формирование у испытуемых уреженного дыхания. Испытуемым предлагалось сделать глубокий вдох и задержать дыхание на вдохе как можно дольше [5, 6]. Полагаем, что эффективность обучения ГВД повысится, если процедура обучения ГВД будет происходить на фоне физических упражнений.

Цель исследования: изучить влияние гиповентиляционных тренировок в сочетании с физическими упражнениями на функциональное состояние и физическую работоспособность человека при выполнении им интенсивной физической работы до отказа.

1.2 Материалы и методы

В обследовании приняли участие 18 практически здоровых добровольцев, лиц мужского пола, в возрасте 18-19 лет, регулярно занимающихся физической культурой. Испытуемые были разделены на 2 группы: основную – 12 человек, которые в течение 5 недель обучались ГВД в сочетании с физическими упражнениями и контрольную – 6 человек, которые не обучались этой методике.

Обучение методике ГВД в сочетании с физическими упражнениями проводили только у испытуемых основной группы, 2 раза в неделю в лаборатории, по 60 мин в течение 5 недель. Это новая комплексная методика, суть которой состояла в следующем: сначала на фоне задержки дыхания на вдохе испытуемые выполняли приседания до отказа, после чего следовало 15-минутное обучение самой методике ГВД. После 2-х минутного отдыха приседания до отказа и 15-минутное обучение ГВД повторяли снова (рис. 1). В основе обучения ГВД лежали дыхательные тренировки по схеме: вдох – 1,2 с, выдох – 1,5 с, пауза после выдоха – (7-10 с), направленные на формирование у испытуемого уреженного дыхания. Обучение происходило на основе словесной инструкции. В остальные дни испытуемые закрепляли навыки ГВД самостоятельно, выполняя задержки дыхания на вдохе 3 раза в день.

До и после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями испытуемые основной и контрольной групп принимали участие в 2-х одноклассных обследованиях, где им было предложено выполнить нагрузочное тестирование на велоэргометре до отказа (мощность нагрузки – 160 Вт). Первое обследование проводилось до обучения ГВД, 2-ое – после обучения испытуемых основной группы методике ГВД в сочетании с физическими упражнениями (рис. 2).

В процессе обследований испытуемые пребывали в следующих состояниях:

- «исходный фон» (2,5 мин), когда испытуемый находился в седле велоэргометра, но не вращал педали;
- «разминка – 60 Вт» (2 мин);
- «тестовая физическая нагрузка до отказа» при мощности 160 Вт 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);
- «завершающий фон» (2,5 мин), когда испытуемый находился в седле велоэргометра, но не вращал педали;

Для нагрузочного тестирования был использован велоэргометр «SportsArt 5005», а само тестирование велось под контролем электрокардиографии (ЭКГ) и



Рис. 1. Схема обучения испытуемых основной группы гиповентиляционному дыханию в сочетании с физическими упражнениями

Pic. 1. The scheme of training of the main group of the hypoventilation breath in combination with physical exercises

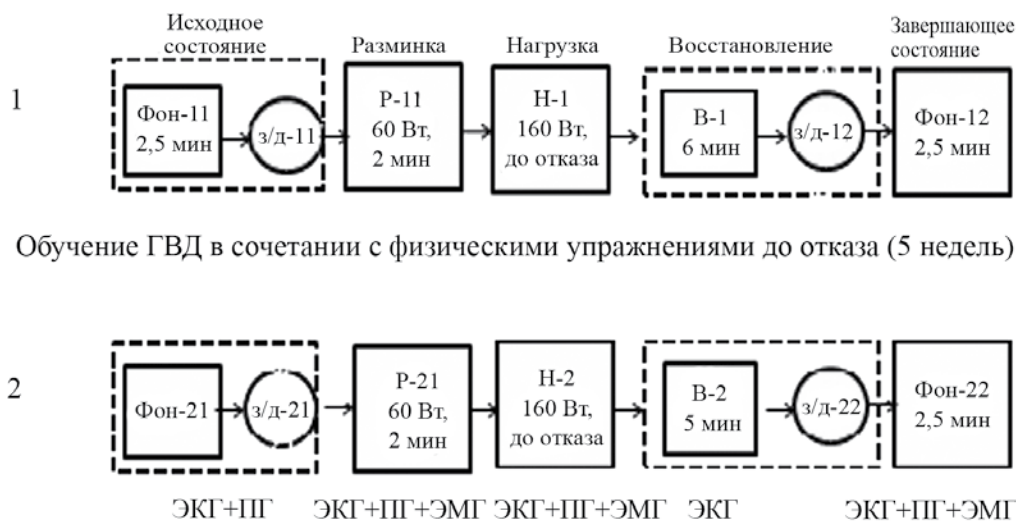


Рис. 2. Схемы обследований испытуемых до (1) и после (2) обучения гиповентиляционному дыханию (ГВД) в сочетании с физическими упражнениями

Pic. 2. Survey schemes of subjects before (1) and after (2) study to a hypoventilation breath (HVB) in combination with physical exercises

пневмографии (компьютерный электрокардиограф «Поли-Спектр-8», «Нейрософт», Иваново), а также электромиографии (ЭМГ) с помощью компьютерного электромиографа («Синапс» – «Нейротех», Таганрог). ЭКГ регистрировали в I стандартном отведении и грудном отведении «V5». На основе ЭКГ в исходном фоне и в процессе выполнения тестовой физической нагрузки оценивали частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин) и частоту дыхания (ЧД, 1/мин), оценивали время выполнения тестовой физической нагрузки (160 Вт) до отказа (Т-отк, с). В процессе выполнения тестовой нагрузки производилась также регистрация суммарной ЭМГ с четырехглавой мышцы правого бедра, на основе которой оценивали среднюю амплитуду ЭМГ (Аср, мВ) и число турнов (число колебаний потенциала ЭМГ с амплитудой более 100 мкВ) [7]. Регистрация показателей ЭКГ, пневмограммы и ЭМГ производилась в исходном фоне и на ступени тестовой нагрузки в последние 30 с. Скорость вращения педалей была постоянной и составляла 1 об/с (прибор «SIGMA – bc-509», датчик которого крепился к педали велоэргометра). Кроме того, в исходном фоне и завершающем фоне оценивали уровень субъективного самочувствия (sam, баллы) в 5-тибальной шкале (баллы), измеряли рост (см) и массу тела (кг), фиксировали субъективные жалобы. Уровень мотивации (mot, баллы) к выполнению физической нагрузки до отказа оценивали на основе психологической шкалы оценки потребности достижения [8] перед 1-ым обследованием. При этом 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.

Статистическая обработка полученных данных проводили с использованием непараметрических критериев. Достоверность различия одноименных показателей определяли на основе критерия Вилкоксона и Манна-Уитни.

1.3 Результаты и их обсуждение

В таблице 1 представлены антропометрические параметры испытуемых (масса тела, рост, возраст), а также уровень мотивации на момент начала участия в эксперименте.

Видно, что по уровню мотивации и антропометрическим показателям группа были однородны.

Известно, что ГВД повышает физическую работоспособность испытуемого при физической работе до отказа [9]. Будет ли сохраняться тот же эффект, если обучение ГВД будет проводиться в сочетании с физическими упражнениями?

С этой целью проведен сравнительный анализ времени выполнения физической работы до отказа на велоэргометре (мощность нагрузки – 160 Вт) у испытуемых основной и контрольной групп (рис. 3).

Из рисунка 3 видно, что в 1-ом обследовании (до обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями) время физической работы до отказа (Т-отк) у испытуемых основной и контрольной групп различалось незначимо. Во 2-ом обследовании (после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями) показатель Т-отк у лиц основной группы увеличился с $165,1 \pm 25,6$ до $307,3 \pm 52,0$ с ($p < 0,05$), в то время как у лиц контрольной группы изменения этого показателя были незначимы. В результате во 2-ом обследовании время физической работы до отказа у испытуемых основной группы было существенно больше, чем у лиц контрольной группы и составило $307,3 \pm 52,0$ против $158,2 \pm 19,9$ с ($p < 0,05$). Таким

Таблица 1

Антропометрические показатели (M±m) испытуемых

Table 1

Anthropometric parameters (M±m) of the subjects

Группы/Groups	Мотивация (баллы)/ Motivation (points)	Масса тела (кг)/ Body weight (kg)	Рост(см)/ Growth(cm)	Возраст (лет)/ Age (years)
Основная (n=12) Main (n=12)	12,0±1,0	72,0±6,1	179,7±1,5	18,0±0,1
Контрольная (n=6) Control (n=6)	12,0±0,9	70,0±2,0	179,3±1,7	17,7±0,2

n – количество испытуемых/number of subjects

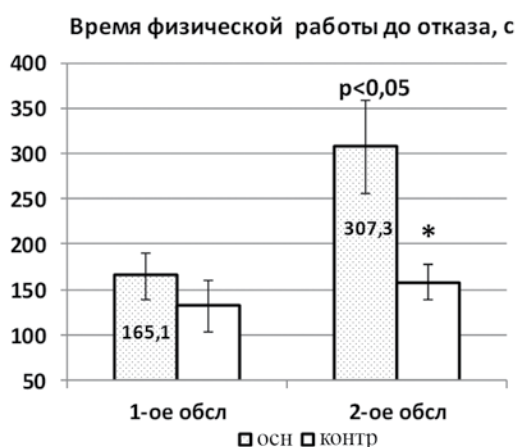


Рис. 3. Средние значения времени (с) работы до отказа у испытуемых основной (узорчатые столбики) и контрольной (белые столбики) групп до (1-ое обл.) и после (2-ое обл.) обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями. Обозначения: * - $p < 0,05$ – достоверность различия показателя во 2-ом обследовании у испытуемых основной и контрольной групп; $p < 0,05$ – достоверность различия показателя у лиц основной группы до и после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями

Рис. 3. Average values of the time (s) to failure in the subjects of the main group (patterned columns) and control group (white columns) at first and second training of hypoventilation breath (HVB) in combination with physical exercises. Designations: * - $p < 0,05$ – reliability of the difference at a 2-nd examination in the subjects of the main and control groups; $p < 0,05$ – the reliability of the difference in the main group before and after the HVB training in combination with physical exercises

образом, ГВД в сочетании с физическими упражнениями почти вдвое повышает физическую работоспособность испытуемых основной группы ($p < 0,05$), в то время как физическая работоспособность лиц контрольной группы повышается незначимо.

О физической работоспособности следует судить не только по тому, как долго испытуемый может выполнять физическую работу до отказа, но и какова «физиологическая цена» этой работы [10]. На рис. 4 представлены гистограммы средних значений «физиологической

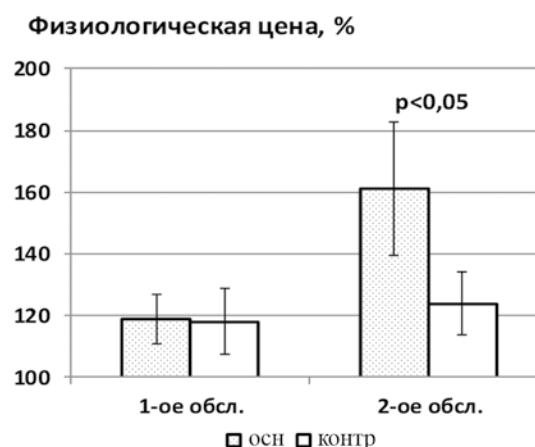


Рис. 4. Средние значения «физиологической цены» (%) физической работы до отказа у лиц основной (узорчатые столбики) и контрольной (белые столбики) групп до (1-ое обл.) и после (2-ое обл.) обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями. Обозначения:

* - $p < 0,05$ – достоверность различия «физиологической цены» физической работы до отказа у лиц основной группы до и после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями

Рис. 4. The average values of «physiological price» (%) of a physical work to failure in the main group (patterned bars) and control group (white bars) before and after HVB training in combination with physical exercises

* - $p < 0,05$ – a reliability of the difference a «physiological price» of physical work to failure in persons of the main group before and after HVB training in combination with physical exercises

цены» для испытуемых основной и контрольной групп до и после обучения ГВД в сочетании с физической нагрузкой.

Видно, что если в 1-ом обследовании (до обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями) «физиологическая цена» тестовой физической работы до отказа у испытуемых основной и контрольной групп практически не различалась, то во 2-ом обследовании (после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями) – «физиологическая цена» работы до отказа у ис-

пытуемых основной группы стала существенно больше. Так, если у лиц основной группы в 1-ом обследовании она составляла $118,9 \pm 8,0\%$, то во 2-ом обследовании (на фоне обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями) «физиологическая цена» значительно повысилась до $161,1 \pm 21,6\%$ ($p < 0,05$). Необходимо отметить, что существенный вклад в повышение «физиологической цены» внесла функция дыхания. Так, если у лиц основной группы в 1-ом обследовании сдвиг ЧД по отношению к исходному фону в момент отказа от тестовой физической нагрузки составил $48,5 \pm 6,6\%$, то во 2-ом обследовании (на фоне обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями) этот сдвиг значительно повысился до $104,7 \pm 24,6\%$ ($p < 0,05$). Испытуемые при этом жаловались на одышку. Таким образом, обучение ГВД в сочетании с физическими упражнениями способствовало значимому повышению физической работоспособности испытуемых основной группы, однако это повышение потребовало от их организма значимого увеличения «физиологической цены». При этом «физиологическая цена» у лиц контрольной группы практически не менялась.

В соответствии с результатами исследования И.С. Бреслава и Н.И. Волкова (2002) феномен отказа от выполнения интенсивной физической работы – это мотивируемая непереносимость предложенной физической нагрузки. Отказ определяется уровнем тренированности спортсмена, интенсивностью нагрузки и др. факторами, однако это всегда результат индивидуальной самооценки уровня физической нагрузки и возможностей собственного организма. В основе механизма отказа лежит афферентная импульсация, несущая информацию о мышечных усилиях и напряжении функции дыхания [11].

На рис. 5 и 6 представлены средние значения параметров ЭМГ – средней амплитуды ЭМГ и числа турнов при интенсивной физической работе до отказа.

Из рис. 5 видно, что во 2-ом обследовании как у лиц основной группы, так и контрольной, средняя амплитуда ЭМГ имеет тенденцию к снижению по сравнению с 1-ым обследованием. Учитывая, что после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями испытуемые основной группы «работали до отказа» почти вдвое дольше, чем испытуемые контрольной группы, то и сдвиг показателя Аср у них был больше и составил (-26,3%) против (-17,8%). Число турнов в обеих группах имело лишь слабую тенденцию к снижению (рис. 6). Аналогичную динамику изменения параметров ЭМГ (Аср и число турнов) мы наблюдали и при мощности нагрузки 120 Вт [5].

Известно, что в основе развития утомления лежит снижение возбудимости коры больших полушарий из-за длительного действия проприоцептивной импульсации, которая тормозит спинальные альфа-мотонейроны и тем самым блокирует действие корковой двигательной импульсации. Если утомление не столь велико и еще может быть преодолено волевым усилием человека, то па-

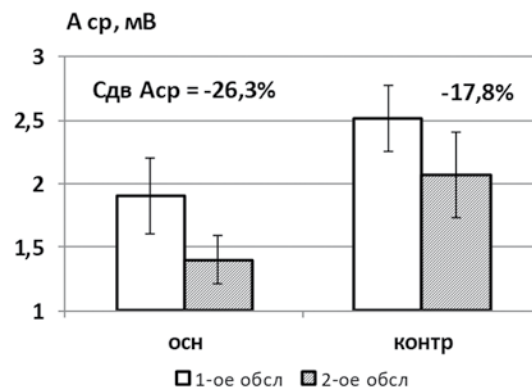


Рис. 5. Средние значения амплитуды ЭМГ (Аср, мВ) в 1-ом (белые столбики) и 2-ом (заштрихованные столбики) обследованиях у лиц основной (осн) и контрольной (контр) групп

Pic. 5. Average values of EMG amplitude (Acp, mV) at the 1st (white bars) and 2nd (shaded bars) examinations in the main and control groups

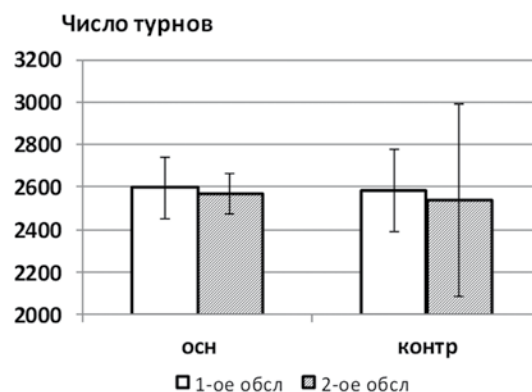


Рис. 6. Средние значения числа турнов ЭМГ в 1-ом (белые столбики) и 2-ом (заштрихованные столбики) обследованиях у лиц основной (осн) и контрольной (контр) групп

Pic. 6. The average values of the number of rounds EMG in the 1st (white bars) and 2nd (shaded bars) examination in the main and control groups

аметры Аср и частота ЭМГ, характеризующие деятельность мотонейронов, возрастают. Однако при крайнем утомлении мышц амплитуда и частота ЭМГ снижаются [12-14]. В результате происходит снижение сократительной силы мышечных волокон (мышечное усилие снижается), но не блокирование возбуждения в спинальных или нервно-мышечных синапсах. С учетом сказанного, можно предположить, что снижение мышечного усилия при нажатии на педаль велоэргометра в момент отказа обусловлено именно развитием утомления мышц. Таким образом, после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями у лиц основной группы в момент отказа от нагрузки отмечалась одышка и выраженная тенденция к снижению мышечного усилия (Аср) на фоне слабого снижения частоты разрядов альфа-мото-

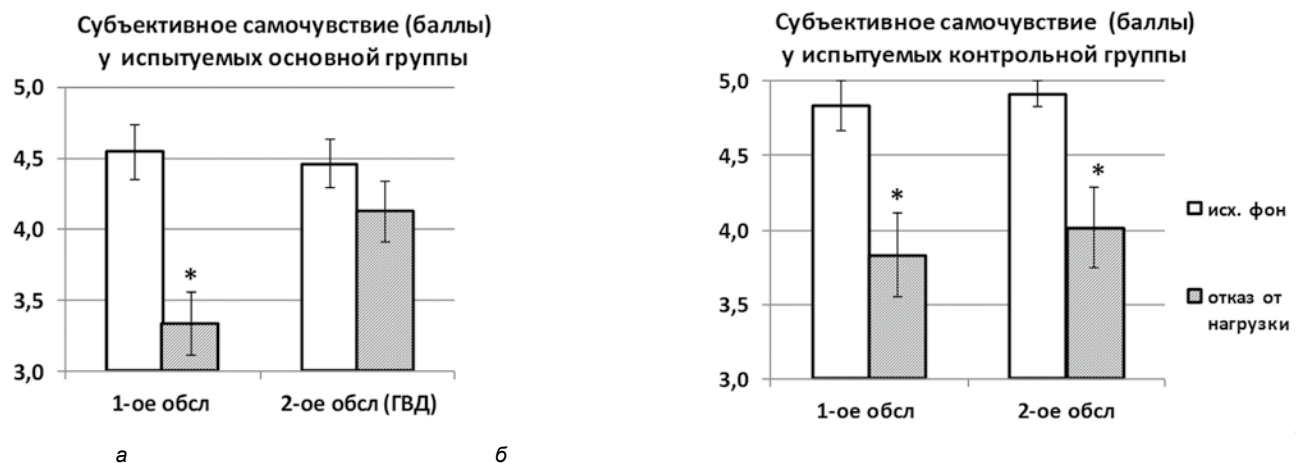


Рис. 7. Средние значения уровня субъективного самочувствия у испытуемых основной (а) и контрольной (б) групп в исходном фоне (белые столбики) и в момент отказа от тестовой физической нагрузки (заштрихованные столбики)

* - $p < 0,05$ – достоверность различия показателя в исходном фоне и в момент отказа от тестовой нагрузки у испытуемых основной и контрольной групп

Fig. 7. The average values of the level of subjective well-being in the subjects of the main (a) and control (b) groups in the initial background (white bars) and at the time of refusal of the test physical activity (shaded bars)

* - $p < 0.05$ – the accuracy of the difference in the initial background and at the time of failure of the test load in the subjects of the main and control groups

нейронов (число турнов), что характерно для крайней степени утомления. Полагаем, это связано с изменениями в состоянии корковых нервных центров и развитием охранительного торможения коры.

Естественно предположить, что в момент отказа от интенсивной физической нагрузки субъективное самочувствие испытуемых по сравнению с исходным фоновым состоянием должно снижаться.

Так, в момент отказа от выполнения тестовой физической нагрузки уровень субъективного самочувствия у всех испытуемых значительно снижался в 1-ом обследовании, т.е. до обучения ГВД (рис. 7 а, б). Во 2-ом обследовании – после обучения ГВД – уровень субъективного самочувствия значительно снижался лишь у испытуемых контрольной группы (рис. 7 б), в то время как у испытуемых основной группы показатель уровня субъективного самочувствия лишь проявлял тенденцию к снижению (рис. 7 а). Отсюда следует, что обучение ГВД в сочетании с физическими упражнениями способствовало сохранению исходного уровня субъективного самочувствия в момент отказа от выполнения интенсивной физической

работы. Полагаем, что в основе этого лежит тот факт, что ГВД благотворно сказывается на состоянии когнитивных функций и психической сферы испытуемых, что согласуется с результатами исследования А.В. Суховершина с соавторами [15].

1.4 Выводы

1. Гиповентиляционное дыхание в сочетании с физическими упражнениями почти вдвое повышает физическую работоспособность испытуемых, однако это повышение требует от организма значимого увеличения «физиологической цены».

2. В момент отказа от выполнения интенсивной физической работы отмечена выраженная тенденция к снижению мышечного усилия на фоне снижения частоты разрядов альфа-мотонейронов, что, по-видимому, связано с развитием охранительного торможения коры, присущего крайней степени утомления.

3. Гиповентиляционное дыхание в сочетании с физическими упражнениями способствует сохранению исходного уровня субъективного самочувствия в момент отказа от интенсивной физической работы.

Список литературы

1. Бреслав И.С., Ноздрачев А.Д. Регуляция дыхания: висцеральная и поведенческие составляющие // Успехи физиологических наук, 2007, Т.38, №2. С.26-45.
2. Бреслав И.С., Волков Н.И., Тамбовцева Р.В. Дыхание и мышечная активность человека в спорте: руководство для изучающих физиологию человека. М.: Советский спорт, 2013. 336 с.
3. Солопов И.Н. Оптимизация адаптации организма посредством направленных воздействий на дыхательную функ-

References

1. Breslav IS, Nozdrachev AD. Regulation of respiration: visceral and behavioral components. *Uspеhi fiziologicheskikh nauk (Progress in Physiology)*, 2007;38 (2):26-45. Russian.
2. Breslav IS, Volkov NI, Tambovtseva RV. Breathing and muscle activity in sports: *rukovodstvo dlya izuchayushchih fiziologiyu cheloveka*. Moscow, Sovetskiy sport, 2013, 336 p. Russian.
3. Solopov IN. Optimization of the organism's adaptation through directed influences on the respiratory function. *Vestnik*

цию // Вестник ТвГУ. Серия: «Биология и экология». 2013. Вып. 29. №2. С.241-249.

4. **Woorons X, Mucci P, Richalet JP, Pichon A.** Hypoventilation training at supramaximal intensity improves swimming performance // *Med Sci Sports Exerc.* 2016. Jun; 48(6):1119-28.

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.

6. **Engan HK, Lodin-Sundström A, Schagatay F, Schagatay E.** The effect of climbing Mount Everest on spleen contraction and increase in hemoglobin concentration during breath holding and exercise // *High Alt Med Biol.* 2014. Apr; 15(1):52-7.

7. **Прянишникова О.А., Городничев Р.М., Городничева Л.Р., Ткаченко А.В.** Спортивная электронейромиография. // *Теория и практика физической культуры.* 2005. №9. С.6-11.

8. **Карелин А.А.** Большая энциклопедия психологических тестов. М.: Эксмо, 2007. 416 с.

9. **Фудин Н.А., Классина С.Я., Пигарева С.Н., Вагин Ю.Е.** Сравнительный анализ эффектов влияния гиповентиляционного дыхания на физическую работоспособность и кардиореспираторные показатели человека при различных по интенсивности физических нагрузках // *Теория и практика физической культуры.* 2017. №8. С.31-33.

10. **Классина С.Я.** Физиологическая модель социального взаимодействия тренер-спортсмен в процессе тренировки на велоэргометре // *Вестник новых медицинских технологий.* 2014. Т.21, №3. С.122-126.

11. **Бреслав И.С., Волков Н.И.** Феномен отказа в мышечной деятельности. Роль системы дыхания. // *Физиология человека,* 2002. Т.28, №1. С.121-129.

12. **Jamaluddin FN, Ahmad SA, Noor SB, Hassan WZ, Yaakob A, Adam Y, Ali SH.** Amplitude and frequency changes in surface EMG of biceps femoris during five days Bruce Protocol treadmill test. – In: 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2015), 25-29 Aug. 2015, Milano, Italy. P. 6219-6222.

13. **Yoshitake Y, Ue H, Miyazaki M, Moritani T.** Assessment of lower-back muscle fatigue using electromyography, mechanomyography, and near-infrared spectroscopy. // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2001. Mar; 84(3):174-9.

14. **Rota S, Morel B, Saboul D, Rogowski I, Hautier C.** Influence of fatigue on upper limb muscle activity and performance in tennis. // *J ElectromyogrKinesiol.* 2014 Feb;24(1):90-7.

15. **Суховершин А.В., Пантин А.В., Подорогин А.В.** Эффективность применения гиперкапнической гипоксии в курортной реабилитации больных неврозами // *Тюменский медицинский журнал.* 2011. №2. С.45.

TvGU. Seriya: «Biologiya i ekologiya». (Bulletin of the Tver State University. Series: "Biology and Ecology"). 2013;29(2):241-249. Russian.

4. **Woorons X, Mucci P, Richalet JP, Pichon A.** Hypoventilation training at supramaximal intensity improves swimming performance. // *Med Sci Sports Exerc.* 2016. Jun; 48(6):1119-28.

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. Russian.

6. **Engan HK, Lodin-Sundström A, Schagatay F, Schagatay E.** The effect of climbing Mount Everest on spleen contraction and increase in hemoglobin concentration during breath holding and exercise. // *High Alt Med Biol.* 2014. Apr; 15(1):52-7

7. **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. Russian.

8. **Karelin AA.** Bolshaiya entsiklopediya psichologicheskikh testov. Moscow, Exmo, 2007. 416 p. Russian.

9. **Fudin NA, Klassina SYa, Pigareva SN, Vagin YuE.** Comparative analysis of the effects of the influence of hypoventilation breathing on the physical working capacity and cardiorespiratory indices of a person at various physical loads. *Teoriya i Praktika Fizicheskoy kultury (Theory and Practice of Physical Culture).* 2017;(8):31-33. Russian.

10. **Klassina SYa.** Physiological model of social interaction coach-sportsman in the process of training on a veloergometer. *Vestnik novych meditsynkikh technologiy.* 2014;21(3):122-126. Russian.

11. **Breslav IS., Volkov NI.** The phenomenon of failure in muscle activity. The role of the respiratory system. *Fiziologiya cheloveka (Human hysiology).* 2002;28(1):121-129. Russian.

12. **Jamaluddin FN, Ahmad SA, Noor SB, Hassan WZ, Yaakob A, Adam Y, Ali SH.** Amplitude and frequency changes in surface EMG of biceps femoris during five days Bruce Protocol treadmill test. – In: 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2015), 25-29 Aug. 2015, Milano, Italy. pp. 6219-6222.

13. **Yoshitake Y, Ue H, Miyazaki M, Moritani T.** Assessment of lower-back muscle fatigue using electromyography, mechanomyography, and near-infrared spectroscopy. // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2001. Mar;84(3):174-9.

14. **Rota S, Morel B, Saboul D, Rogowski I, Hautier C.** Influence of fatigue on upper limb muscle activity and performance in tennis. // *J ElectromyogrKinesiol.* 2014 Feb;24(1):90-7.

15. **Suchovershin AV, Pantin AV, Podorogin AV.** Efficacy of hypercapnic hypoxia in the spa rehabilitation of patients with neuroses. *Tyumensky meditsinsky zhurnal.* 2011;(2):45. Russian.

Сведения об авторах:

Фудин Николай Андреевич, заместитель директора по научной работе ФГБНУ «НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина», член-корр. РАН, проф., д.б.н. ORCID ID: 0000-0002-5511-7375

Классина Светлана Яковлевна, ведущий научный сотрудник лаборатории системных механизмов спортивной деятельности ФГБНУ «НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина», к.б.н. ORCID ID: 0000-0001-7972-9600 (+7(905)547-62-34, klassina@mail.ru)

Пигарева Светлана Николаевна, старший научный сотрудник лаборатории системных механизмов спортивной деятельности ФГБНУ «НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина», к.б.н. ORCID ID: 0000-0002-9376-280

Вагин Юрий Евгеньевич, профессор кафедры нормальной физиологии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), д.м.н. ORCID ID:0000-0002-1262-1643

Information about the authors:

Nikolay A. Fudin, M.D., D.Sc. (Biology), Corresponding Member of RAS, Prof., Dep. Dir of P.K. Anokhin Institute of normal physiology. ORCID ID: 0000-0002-5511-7375

Svetlana Ya. Klassina, M.D., Ph.D. (Biology), Leading researcher of the laboratory of systemic mechanisms of sport activity of P.K. Anokhin Institute of normal physiology. ORCID ID: 0000-0001-7972-9600 (+7 (905) 547-62-34, klassina@mail.ru)

Svetlana N. Pigareva, M.D., Ph.D. (Biology), Senior researcher of the laboratory of systemic mechanisms of sport activity of P.K. Anokhin Institute of normal physiology. ORCID ID: 0000-0002-9376-280

Yuriy E. Vagin, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor of the Department of Normal Physiology of the Sechenov First Moscow State Medical University. ORCID ID: 0000-0002-1262-1643

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию: 22.03.2018

Принята к публикации: 12.04.2018

Received: 22 March 2018

Accepted: 12 April 2018