

DOI: 10.17238 / ISSN2223-2524.2018.2.21

УДК: 612.745

## Особенности работы механизмов сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека после обучения гиповентиляционному дыханию в сочетании с физическими упражнениями

С.Я. Классина

ФГБУН Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина,  
Министерство образования и науки РФ, г. Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** изучить особенности работы механизмов сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека после обучения гиповентиляционному дыханию в сочетании с физическими упражнениями. **Материалы и методы:** обследованы 18 юношей до и после обучения методике гиповентиляционного дыхания в сочетании с физическими упражнениями. Они были разделены на 2 группы: основную и контрольную. Методике обучались только испытуемые основной группы. До и после обучения все испытуемые принимали участие в 2-х однотипных фоновых обследованиях, где регистрировали ЭКГ, пневмограмму, показатели спирометрии, уровень сатурации артериальной крови кислородом. **Результаты:** показано, что после обучения гиповентиляционному дыханию в сочетании с физическими упражнениями у испытуемых усиливаются симпатические влияния, активизируется работа дыхательной системы. Вследствие повышения легочной вентиляции отмечено достоверное повышение уровня насыщения артериальной крови кислородом, однако, насыщение тканей кислородом имело тенденцию к снижению, что обусловлено снижением диссоциации оксигемоглобина в них. **Выводы:** гиповентиляционное дыхание в сочетании с физическими упражнениями является внешним регуляторным воздействием на дыхательную систему человека, где индикатором «экономизации» согласованной работы механизмов сердечно-сосудистой и дыхательной систем является отсутствие прироста легочной вентиляции на фоне снижения частоты дыхания.

**Ключевые слова:** гиповентиляционное дыхание, сердечно-сосудистая система, дыхательная система

**Для цитирования:** Классина С.Я. Особенности работы механизмов сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека после обучения гиповентиляционному дыханию в сочетании с физическими упражнениями // Спортивная медицина: наука и практика. 2018. Т.8, №2. С. 21-26. DOI: 10.17238 / ISSN2223-2524.2018.2.21.

## Features of the human cardiovascular and respiratory systems after training in hypoventilation breathing in combination with physical exercises

Svetlana Ya. Klassina

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

### ABSTRACT

**Objective:** to study the features of cardiovascular and respiratory systems after individual training in hypoventilation breathing in combination with physical exercises. **Materials and methods:** 18 young men were examined before and after training in hypoventilation breathing technique in combination with physical exercises. They were divided into 2 groups: main and control. The technique was used only by subjects of the main group. All subjects took part in 2 similar background examinations before and after training, where ECG, pneumogram, spirometry parameters, and arterial oxygen saturation level were recorded. **Results:** the study showed increasing of the sympathetic influences and activation of the respiratory system after hypoventilation breathing in combination with physical exercises. The arterial oxygen saturation level was significantly higher after training due to increasing of pulmonary ventilation. But the tissue oxygen saturation level was lower due to decreased dissociation of oxyhemoglobin. **Conclusions:** hypoventilation breathing in combination with physical exercises has a significant regulatory impact on the human respiratory system. The indicator of «economization» of the coordinated work of cardiovascular and respiratory systems is the absence of the pulmonary ventilation increase against the decrease of the respiratory rate.

**Key words:** hypoventilation breath, cardiovascular system, respiratory system

**For citation:** Klassina SYa. Features of the human cardiovascular and respiratory systems after training in hypoventilation breathing in combination with physical exercises. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2018;8(2):21-26. Russian. DOI: 10.17238 / ISSN2223-2524.2018.2.21.

### 1.1 Введение

К основным показателям функции внешнего дыхания следует относить не только объемные показатели дыхания, но и паттерн дыхательного цикла, позволяющий дыхательной мускулатуре работать в оптимальном режиме. Основной особенностью паттерна дыхания является то, что он подвержен произвольному управлению. Признаком произвольного изменения паттерна дыхания является его осознанность, подконтрольность словесной инструкции. Такого рода «управляемость» паттерна дыхания приводит к изменению уровня вентиляции легких, а, следовательно, создает условия для направленной регуляции дыхания, что с успехом используется в спортивной медицине [1-4].

Показано, что обучение произвольному гиповентиляционному дыханию (ГВД), посредством изменения паттерна, формирует у человека новый динамический стереотип дыхания. При этом ГВД повышает устойчивость к гипоксии, активирует систему кровообращения, «экономизирует» дыхание, что, в конечном итоге, обуславливает выраженное повышение физической работоспособности человека [5]. Следует подчеркнуть, что под «экономизацией» дыхания понимали произвольное изменение паттерна дыхания, направленное на снижение частоты дыхания и устранение прироста легочной вентиляции. В связи с этим, можно предположить, что методика ГВД в сочетании с физическими упражнениями, являясь модификацией методики ГВД, внесет свои особенности в работу механизмов сердечно-сосудистой и дыхательной систем, направленных на поддержание уровня кислорода в крови и утилизацию его тканями.

**Цель исследования:** изучить особенности работы механизмов сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека после обучения гиповентиляционному дыханию в сочетании с физическими упражнениями.

### 1.2 Материалы и методы

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

Обучение методике ГВД в сочетании с физическими упражнениями проводили 2 раза в неделю по 60 мин в течение 5 недель только у испытуемых основной группы. Для этого 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.

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 однотипных обследованиях, где им было предложено выполнить нагрузочное тестирование на велоэргометре до отказа (мощность нагрузки – 160 Вт). Испытуемые пребывали в состояниях: «фон» – «разминка» – «нагрузочное тестирование» – «восстановление». Для оценки влияния ГВД в сочетании с физическими упражнениями на показатели сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека проводился сравнительный анализ вегетативных показателей в исходных фоновых состояниях первого и второго обследования.

Для нагрузочного тестирования был использован велоэргометр «SportsArt 5005», а само тестирование велось под контролем электрокардиографии (ЭКГ) и пневмографии (компьютерный электрокардиограф «Поли-Спектр-8», «Нейрософт», Иваново). ЭКГ регистрировали в I стандартном отведении и отведении «V5». Оценивали частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин) и частоту дыхания (ЧД, 1/мин), величины зубцов (P, Q, R, S, T) и сегментов (QRS, ST) ЭКГ, а также проводили оценку мощностей спектральных составляющих кардиоритма – %HF, %LF, %VLF [6]. Измеряли время выполнения тестовой физической нагрузки до отказа (Т-отк, с). Кроме того, в исходном состоянии перед первым и вторым обследованиями испытуемых измеряли АД (мм рт. ст) по методу Короткова и параметры внешнего дыхания: жизненную емкость легких – ЖЕЛ (л), форсированную жизненную емкость легких – ФЖЕЛ (л), объем форсированного выдоха за 1-ю секунду – ОФВ1 (л) с использованием портативного спирометра «SP-1». Измеряли уровень сатурации артериальной крови кислородом (SaO<sub>2</sub>, %) с помощью пальцевого пульсоксиметра (АрмедУХ301). Расчетным путем оценивали УОК (мл) и МОК (л/мин), общее периферическое сопротивление сосудов [7].

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

Любое внешнее воздействие на организм человека находит свое отражение в изменениях функционирования его физиологических систем. Возникает вопрос:

за счет каких физиологических механизмов ГВД в сочетании с физическими упражнениями воздействует на организм человека? Чтобы ответить на этот вопрос, нам представляется разумным исключить из анализа влияние тестовой физической нагрузки на организм человека и обратиться к сравнению исходных фоновых состояний испытуемых до и после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями. Нетрудно понять, что при этом все изменения физиологических показателей будут обусловлены только воздействием ГВД в сочетании с физическими упражнениями, т.е. мы будем иметь «чистый» физиологический эффект данного воздействия на организм испытуемых.

Для оценки изменений в работе механизмов вегетативной регуляции использовали спектральный анализ ЭКГ. Спектральный анализ ЭКГ позволяет выявить ранние проявления изменений в работе механизмов вегетативной регуляции, предшествующие энергетическим и метаболическим нарушениям. В таблице 1 представлены средние значения относительной спектральной мощности %VLF-, %LF-, %HF-волн в структуре кардиоритма до и после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями (табл. 1).

Из таблицы видно, что после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями у испытуемых основной группы в структуре кардиоритма изменилось соотношение мощностей спектральных компонентов, а именно проявилась тенденция к повышению относительной спектральной мощности сосудистых волн (%LF) и статистически значимое снижение мощности дыхательных волн (%HF,  $p < 0,05$ ). Последнее однозначно свидетельствует в пользу усиления симпатических влияний на сердце у лиц основной группы. У испытуе-

мых контрольной группы, которые не обучались ГВД в сочетании с физическими упражнениями, показатели спектральных мощностей %VLF-, %LF-, %HF-волн не изменились. Таким образом, обучение ГВД в сочетании с физическими упражнениями способствует усилению симпатических влияний на сердце. Достоверных межгрупповых различий показателей не обнаружено.

Заметим, что повышение мощности сосудистых волн связывают с повышением активности сосудодвигательного центра (СДЦ) продолговатого мозга. Тогда активность СДЦ обязательно должна найти свое отражение в динамике показателей сердечно-сосудистой системы. Нами проведен анализ влияния ГВД в сочетании с физическими упражнениями на ЧСС и показатели гемодинамики. Выявлено, что обучение ГВД не оказывает существенного влияния на фоновые показатели системы кровообращения, что подтверждается отсутствием достоверных изменений этих показателей. Так, если после 30-дневного обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями и у испытуемых основной группы выявлены тенденции к росту ЧСС с  $82,0 \pm 2,1$  до  $87,0 \pm 2,6$  уд/мин, УОК с  $65,6 \pm 2,2$  до  $67,8 \pm 2,1$  мл и МОК с  $5,5 \pm 0,1$  до  $5,9 \pm 0,2$  л/мин, то у испытуемых контрольной группы, наоборот, отмечается тенденция к снижению показателей УОК и МОК. Все эти изменения позволяют говорить об активации системы кровообращения у лиц основной группы после 30-дневного обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями.

Проведен анализ влияния ГВД в сочетании с физическими упражнениями на ритм дыхания и показатели спирометрии (табл. 2).

Видно, что по сравнению с контрольной группой у лиц основной группы после обучения ГВД в сочетании

Таблица 1

**Средние значения ( $M \pm m$ ) относительных спектральных мощностей %VLF-, %LF-, %HF-волн у испытуемых в исходном фоновом состоянии до и после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями**

Table 1

**Mean values ( $M \pm m$ ) of the relative spectral powers of the %VLF, %LF, and %HF waves in subjects in the initial background state, before and after hypoventilation training in combination with physical exercises**

Показатели / Indicators	Момент регистрации показателей / a moment of registration indicators	Основная группа (n=12) / main group (n=12)	Контрольная группа (n=6) / control group (n=6)
%VLF	до обучения ГВД / before HVB training	35,8±5,1	41,8±4,8
	после обучения ГВД / after HVB training	34,1±4,5	41,1±8,9
%LF	до обучения ГВД / before HVB training	47,1±5,1	45,6±4,4
	после обучения ГВД / after HVB training	54,9±3,7	45,8±8,0
%HF	до обучения ГВД / before HVB training	17,2±3,1	12,8±2,1
	после обучения ГВД / after HVB training	11,0±2,0 <b>p &lt; 0,05</b>	12,8±2,9

$p < 0,05$  – статистически значимое различие показателя до и после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями; n – количество испытуемых

$p < 0,05$  – statistically significant difference in the indicator before and after HVB training in combination with physical exercises; n – number of subjects

с физическими упражнениями отмечается тенденция к снижению ЧД. Поскольку обучение ГВД в сочетании с физическими упражнениями предусматривало сначала физические упражнения (приседания до отказа) на фоне задержки дыхания на вдохе, то следовавший за этим процесс обучения ГВД уже проходил на фоне сформированной двигательной гипоксии. В результате после выполнения приседаний у испытуемых появлялось чувство нехватки воздуха, увеличивалась глубина дыхания. Такого рода тренировка обусловила статистически значимое повышение жизненной емкости легких (ЖЕЛ,  $p < 0,05$ ) и тенденцию к росту минутного объема дыхания (МОД), т.е. способствовало повышению легочной вентиляции. Заметим, что после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями ЖЕЛ у испытуемых основной группы была достоверно выше ( $p < 0,05$ ), чем у лиц контрольной группы (табл. 2).

ЖЕЛ – это показатель, отражающий функциональные возможности системы дыхания. Величина ЖЕЛ зависит как от общего состояния здоровья, так и от длительности и направленности занятий дыхательными практиками. Вероятно, в основе увеличения ЖЕЛ лежит изменение эластических свойств легких, происходящее на фоне увеличения силы сокращения дыхательных мышц, а потому при регулярных гиповентиляционных тренировках на фоне физических упражнений величина ЖЕЛ увеличивается. Отсюда следует, что обучение ГВД в сочетании с физическими упражнениями в большей степени адресовано к функции дыхания и в меньшей к сердечно-сосудистой системе. «Экономизации» дыхания не происходило, поскольку достоверно повышалась

ЖЕЛ, а, следовательно, и легочная вентиляция. Полагаю, что причиной повышения легочной вентиляции у лиц основной группы является введение в методику обучения ГВД дополнительного гипоксического стимула – физических упражнений.

Легочная вентиляция является управляющим параметром функции внешнего дыхания не только в покое, но и при физической нагрузке [8]. В этом смысле ГВД в сочетании с физическими упражнениями может рассматриваться как внешнее регуляторное воздействие на дыхательную систему человека, где индикатором оптимума воздействия должно быть снижение частоты дыхания (ЧД) и отсутствие прироста легочной вентиляции (МОД).

Повышение легочной вентиляции у испытуемых основной группы после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями обуславливает избыточное «вымывание» из организма испытуемых  $\text{CO}_2$  и приводит к изменению газового состава крови: повышается уровень напряжения кислорода в крови и развивается респираторный алкалоз. Известно, что переносчиками дыхательных газов являются эритроциты, имеющие 4 гема двухвалентного железа и способные одновременно переносить 4 молекулы кислорода. Гемоглобин полностью «загружается» кислородом, его сродство с кислородом растет и далее он «неохотно» отдает его тканям. В результате вся обогащенная кислородом кровь оттекает от легких на периферию, но утилизация кислорода тканями снижается [9]. Именно этим можно объяснить причину достоверного повышения уровня насыщения артериальной крови кислородом ( $\text{SaO}_2, \%$ ) (рис. 1).

Таблица 2

**Средние значения частоты дыхания (ЧД, 1/мин) и объемных показателей системы внешнего дыхания (ЖЕЛ, л, МОД, л/мин) в исходном фоновом состоянии испытуемых основной и контрольной групп до и после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями.**

Table 2

**Mean values of the respiratory rate (RR, 1/min) and volume indices of the external respiration (vital capacity – VC, l; pulmonary minute volume – PMV, l/min) in the initial background state in the subjects of the main and control groups before and after HVB training in combination with physical exercises**

Показатели/ Indicators	Момент регистрации показателей/ moment of registration indicators	Основная группа (n=12)/ main group (n=12)	Контрольная группа/ control group (n=6)
ЧД, 1/мин/ RR, 1/min	до обучения ГВД/before HVB training	16,4±0,8	15,5±1,4
	после обучения ГВД/after HVB training	15,8±1,1	16,0±1,3
ЖЕЛ, л/VC, л	до обучения ГВД/before HVB training	4,0±0,1	3,9±0,3
	после обучения ГВД/after HVB training	4,8±0,2 $p < 0,05$	4,0±0,3 *
МОД, л/мин/ PMV, l/min	до обучения ГВД/before HVB training	7,5±0,6	7,3±0,5
	после обучения ГВД/after HVB training	9,1±1,0	7,7±1,0

$p < 0,05$  – статистически значимое различие показателя до и после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями

\* – статистически значимое ( $p < 0,05$ ) межгрупповое различие показателя

$p < 0,05$  – statistically significant difference in the indicator before and after HVB training in combination with physical exercises

\* – statistically significant ( $p < 0,05$ ) intergroup difference of the index

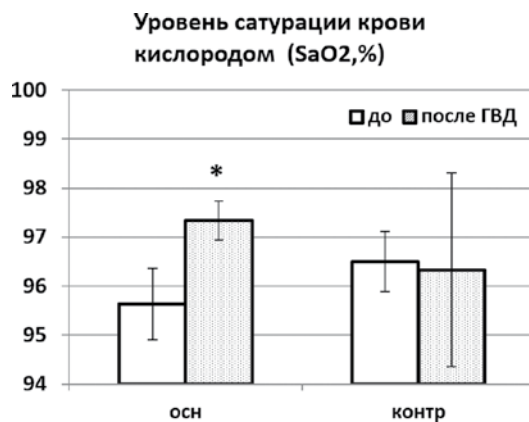


Рис. 1. Средние значения уровня насыщения артериальной крови кислородом (SaO<sub>2</sub>, %) у испытуемых основной (осн) и контрольной (контр) групп до (белые столбики) и после (заштрихованные столбики) обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями

\*p<0,05 – достоверность различия показателя у испытуемых основной и контрольной групп до и после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями

Fig. 1. Mean values of arterial oxygen saturation level (SaO<sub>2</sub>, %) in the subjects of the main group and control group before (white bars) and after (shaded bars) of HVB training in combination with physical exercises

\*p<0,05 – reliability of the index difference in subjects of the main and control groups before and after HVB training in combination with physical exercises

Как сказано выше, именно снижение напряжения CO<sub>2</sub> в крови повышает сродство гемоглобина к кислороду, а, следовательно, перенос O<sub>2</sub> из капилляров в ткани снижается. На рис. 2 представлены гистограммы средних значений значения зубца Q (мВ) на ЭКГ у испытуемых основной и контрольной групп до и после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями.

Из рисунка 2 следует, что у испытуемых основной группы отмечается слабая тенденция к углублению Q-зубца, что может быть обусловлено нарастанием дефицита кислорода в тканях миокарда [10]. Таким образом, у испытуемых основной группы после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями насыщение тканей миокарда кислородом имело тенденцию к снижению, что обусловлено снижением диссоциации оксигемоглобина в тканях вследствие повышения легочной вентиляции.

Однако, несмотря на все сказанное, после обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями у лиц основной группы отмечено почти двукратное повышение времени физической работы до отказа с 165,1±25,6 до 307,3±52,0с (p<0,05), что подтверждает эффективность методики как стимулятора физической работоспособности человека.

Зубец Q (мВ) в исходных состояниях до и после обучения ГВД

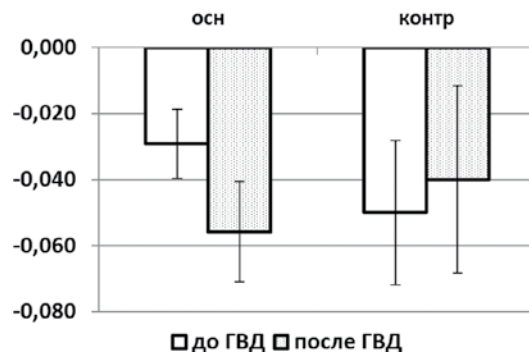


Рис. 2. Средние значения зубца Q (мВ) на ЭКГ у испытуемых основной (осн) и контрольной (контр) групп до (белые столбики) и после (заштрихованные столбики) обучения ГВД в сочетании с физическими упражнениями

Fig. 2. The mean values of the Q-wave (mV) ECG in the subjects of the main and control groups before (white bars) and after (shaded bars) of the HVB training in combination with physical exercises

#### 1.4 Выводы

Изучены физиологические эффекты влияния ГВД в сочетании с физическими упражнениями на вегетативные показатели сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека в состоянии покоя. Показано, что в основе механизма воздействия ГВД в сочетании с физическими упражнениями лежат следующие физиологические эффекты: усиление симпатических влияний на сердце, активация сердечно-сосудистой системы и выраженная активация функции внешнего дыхания. При этом «экономизации» дыхания не происходило, поскольку повышалась легочная вентиляция. Вследствие повышения легочной вентиляции отмечено достоверное повышение уровня насыщения артериальной крови кислородом, но насыщение тканей миокарда кислородом имело тенденцию к снижению, что обусловлено снижением диссоциации оксигемоглобина в тканях. Причиной повышения легочной вентиляции у лиц основной группы является введение в методику обучения ГВД дополнительного гипоксического стимула – физических упражнений. Отсюда следует, что обучение ГВД в сочетании с физическими упражнениями может расцениваться как внешнее регуляторное воздействие на дыхательную систему человека. В связи с этим интенсивность физических упражнений при обучении гиповентиляционному дыханию должна расцениваться как регуляторный параметр физической работоспособности спортсмена, который всегда должен быть под контролем тренера.

## Список литературы

1. **Бреслав И.С.** Произвольное управление дыханием человека: теории и современные практики // Вестник Тверского государственного университета. Серия: «Биология и экология», 2009. №14. С. 25-37.
2. **Nicolò A, Marcora SM, Bazzucchi I, Sacchetti M.** Differential control of respiratory frequency and tidal volume during high-intensity interval training // Exp. Physiol., 2017. Vol.102, №8. P. 934-49. DOI: 10.1113 / EP086352.
3. **Di Paco A, Dubé BP, Laveneziana P.** Changes in Ventilatory Response to Exercise in Trained Athletes: Respiratory Physiological Benefits Beyond Cardiovascular Performance // Arch. Bronconeumol., 2017. Vol.53, №5. P. 237-44. DOI: 10.1016 / j.arbres.2016.11.023.
4. **Солопов И.Н.** Физиологические эффекты методов направленного воздействия на дыхательную функцию человека. Волгоград: ВГАФК, 2004. 220 с.
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. 22-8.
6. **Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology.** Heart Rate Variability. Standards of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use // Circulation. 1996. №87. P. 1043-7.
7. **Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А., Хрущев С.В., Борисова Ю.А., Любина Б.Г., Меркулова Р.А.** Кардиогемодинамика и физическая работоспособность у спортсменов. М: Советский спорт, 2012. 189 с.
8. **Григорян А.Ф., Акопян Н.С., Адамян Н.Ю., Арутюнян Р.С.** Биоэкономика внешнего дыхания // Теория и практика физической культуры. 2003. №11. С. 58-61.
9. **Collins JA, Rudenski A, Gibson J, Howard L, O'Driscoll R.** Relating oxygen partial pressure, saturation and content: the haemoglobin-oxygen dissociation curve // Breathe. 2015. Vol.11, №3. P. 194-201. DOI: 10.1183 / 20734735.001415.
10. **Коваленко В.Н.** Руководство по кардиологии. Практическое пособие. Киев: «Морион», 2008. 1424 с.

## Сведения об авторе:

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

## Information about the author:

**Svetlana Ya. Klassina**, M.D., Ph.D. (Biology), Leading Researcher of the Laboratory of Systemic Mechanisms of Sports Activity of the P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology. ORCID ID: 0000-0001-7972-9600 (+7 (905) 547-62-34, klassina@mail.ru)

Поступила в редакцию: 16.04.2018

Принята к публикации: 10.05.2018

Received: 16 April 2018

Accepted: 10 May 2018

## References

1. **Breslav IS.** Arbitrary control of human breathing: theories and modern practices. Bulletin of Tver State University. Series: «Biology and Ecology». 2009;(14):25-37. Russian.
2. **Nicolò A, Marcora SM, Bazzucchi I, Sacchetti M.** Differential control of respiratory frequency and tidal volume during high-intensity interval training. Exp. Physiol. 2017;102(8):934-49. DOI: 10.1113 / EP086352.
3. **Di Paco A, Dubé BP, Laveneziana P.** Changes in Ventilatory Response to Exercise in Trained Athletes: Respiratory Physiological Benefits Beyond Cardiovascular Performance. Arch. Bronconeumol. 2017;53(5):237-44. DOI: 10.1016 / j.arbres.2016.11.023.
4. **Solopov IN.** Fiziologicheskie efekty metodov napravlenogo vozdeystviya na dykhatelnuyu funktsiy u cheloveka. Volgograd, VGAFK, 2004. 220 p. 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):22-8. Russian.
6. **Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology.** Heart Rate Variability. Standards of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use. Circulation. 1996;(87):1043-7.
7. **Karpman VL, Belotserkovsy ZB, Gudkov IA, Khrushev SV, Borisova YuA, Lubina BG, Merkulova RA.** Kardiogemodinamika i fizicheskaya rabotosposobnost u sportsmenov. Moscow, Sovetskiy sport, 2012. 189 p. Russian.
8. **Grigoryan AF, Akopyan NS, Adamyan NYu., Arutyunyan RS.** Bioeconomy of external respiration. Teoriya i praktika fizicheskoy kultury (Theory and practice of physical culture). 2003;(11):58-61. Russian.
9. **Collins JA, Rudenski A, Gibson J, Howard L, O'Driscoll R.** Relating oxygen partial pressure, saturation and content: the haemoglobin-oxygen dissociation curve. Breathe. 2015;11(3):194-201. DOI: 10.1183 / 20734735.001415.
10. **Kovalenko VN.** Rukovodstvo po kardiologii. Prakticheskoe posobie. Kiev, «Morion», 2008. 1424 p. Russian.