

REFERENCES

1. Balyuk, A.D. (2011), "Professional adaptation of the specialist in service and tourism", *Bulletin of the Tyumen state university*, No. 4, pp. 213-216.
2. Bogomolov, A.M. (2008), "Personal adaptation potential in the context of the system analysis", *Psychological science and education*, No. 1, pp. 67-73.
3. Larionova, S.A. (2002), *Social and psychological adaptation of the personality: theoretical model and diagnostics: monograph*, Belgorod.
4. Maklakov, A.G. (2001), "Personal adaptation potential: its mobilization and forecasting in extreme conditions", *Psychological journal*, Vol. 22, No. 1, pp. 16-24.
5. Posokhova, S.T. (2001), *Psychology of the adaptive personality: subject approach*, dissertation, Moscow.
6. Haustova, A.I. (2016), "Social and psychological adaptation", *Young scientist*, No. 26, pp. 614-617.

**Контактная информация:** g.pavelp@yandex.ru

*Статья поступила в редакцию 05.05.2019*

УДК 796.015:612

**ВЛИЯНИЕ ГИПОВЕНТИЛЯЦИОННОГО ДЫХАНИЯ НА УРОВЕНЬ САТУРАЦИИ АРТЕРИАЛЬНОЙ КРОВИ КИСЛОРОДОМ У СПОРТСМЕНОВ ПРИ ТРЕНИРОВКЕ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ**

*Светлана Яковлевна Классина, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина (ФГБНУ «НИИ НФ им. П.К. Анохина»), Москва*

**Аннотация**

Статья посвящена изучению влияния гиповентиляционного дыхания на уровень сатурации артериальной крови кислородом у спортсменов при тренировке на выносливость. Показано, что обучение гиповентиляционному дыханию способствует повышению гипоксической устойчивости испытуемых, увеличивает уровень сатурации артериальной крови кислородом в покое, а при интенсивной физической работе до отказа «смягчает» негативное влияние длительной физической работы на процесс утилизации кислорода мышцами, интенсифицирует процесс восстановления уровня сатурации артериальной крови кислородом после нагрузки.

**Ключевые слова:** спорт, гиповентиляционное дыхание, тренировка, выносливость, сатурация артериальной крови кислородом.

**EFFECT OF HYPOVENTILATIONAL BREATHING ON LEVEL OF SATURATION WITH OXYGEN OF ATHLETE'S ARTERIAL BLOOD AT TRAINING ON ENDURANCE**

*Svetlana Yakovlevna Klassina, the candidate of biological sciences, leading researcher, P.K. Anokhin Institute of Normal Physiology, Moscow*

**Annotation**

The article is devoted to the study of the effect of hyperventilation breathing on the level of saturation with oxygen of athlete's arterial blood at training on endurance. It has been shown that hypoventilation breathing training increases the hypoxic stability of subjects, it increases the level of arterial blood saturation with oxygen at rest, and under intensive physical work to failure it "softens" the negative impact of prolonged physical work on the process of oxygen utilization by muscles, it intensifies the restoring process of arterial blood oxygen saturation level after the load.

**Keywords:** sport, hypoventilation breath, training, endurance, oxygenation of arterial blood.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время введение дополнительных эргогенических средств в технологию подготовки спортсменов получает все большее распространение [1]. Одним из таких

средств является обучение гиповентиляционному дыханию, направленному на снижение легочной вентиляции и изменение газового гомеостаза у спортсменов [2]. Установлено, что обучение ГВД позволяет повысить гипоксическую устойчивость спортсменов, интенсифицировать функцию кровообращения и «экономизировать» дыхание [3], а также повысить его физическую работоспособность [4]. Однако физическая работоспособность спортсменов зависит не только от газового гомеостаза спортсмена, но и от уровня насыщения артериальной крови кислородом [5]. Тогда возникает вопрос: как обучение ГВД отразится на уровне сатурации артериальной крови кислородом у спортсменов при физической работе до отказа. **Целью данного исследования** является изучение влияния гиповентиляционного дыхания на уровень сатурации артериальной крови кислородом у спортсменов при физической работе до отказа.

#### МЕТОДИКА

Исследование проведено в лабораторных условиях, где в качестве модели тренировки на выносливость испытуемого использовали физическую работу до отказа на велоэргометре. 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 ФГБНУ НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина.

В обследовании приняли участие 11 квалифицированных спортсменов (лица мужского пола в возрасте 18-20 лет). Каждый из них был дважды обследован, и в обоих случаях им было предложено выполнить нагрузочное тестирование на велоэргометре в работе до отказа (мощность нагрузки 160 Вт), причем в 1-ый раз – до обучения гиповентиляционному дыханию (ГВД), во 2-ой раз – после обучения ГВД.

В основу обучения ГВД были положены гиповентиляционные тренировки, направленные на формирование у испытуемых уреженного дыхания. Обучение ГВД проводили на основе словесного инструктирования, 3 раза в неделю в течение 4-х недель по схеме: вдох – 1,2 с, выдох – 1,5 с, пауза после выдоха от 7 до 10 с. [2].

Для нагрузочного тестирования был использован велоэргометр «Sports Art 5005», а само тестирование велось под контролем ЭКГ и пневмографии (компьютерный электрокардиограф «Поли-Спектр-8», «Нейрософт», Иваново). Скорость вращения педалей была постоянной и составляла 1 об/с. Измерение скорости производили с помощью прибора «SIGMA – bc-509» (Germany), датчик которого крепился к педали велоэргометра.

В каждом из обследований выделяли следующие этапы: исходное состояние «фон-1» (2,5 мин), разминка «р» (60 Вт, 1 мин), тестовая физическая нагрузка «н» (160 Вт, до отказа), восстановление «в» (6 мин.), завершающее состояние «фон-2» (2,5 мин). На каждом из этапов оценивали частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин) и частоту дыхания (ЧД, 1/мин). Измеряли уровень сатурации артериальной крови кислородом (SaO<sub>2</sub>,%) с помощью пальцевого датчика, а на этапе нагрузки – время физической работы до отказа (Т-отк, с). Расчетным путем оценивали «физиологическую цену» работы до отказа по формуле:  $\rho = \sqrt{\sigma_{\text{чсс}}^2 + \sigma_{\text{чд}}^2}$ , где  $\sigma_{\text{чсс}}$  и  $\sigma_{\text{чд}}$  – относительные сдвиги ЧСС и ЧД в момент отказа от нагрузки по отношению к исходному фону (в процентах) [6]. В исходном и завершающем фоне измеряли задержки дыхания на вдохе (з/д, с), фиксировали субъективные жалобы.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием параметрических критериев. Достоверность различия одноименных показателей определялась на основе t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлена динамика показателя SaO<sub>2</sub>(%) на различных этапах обследования до и после обучения ГВД.

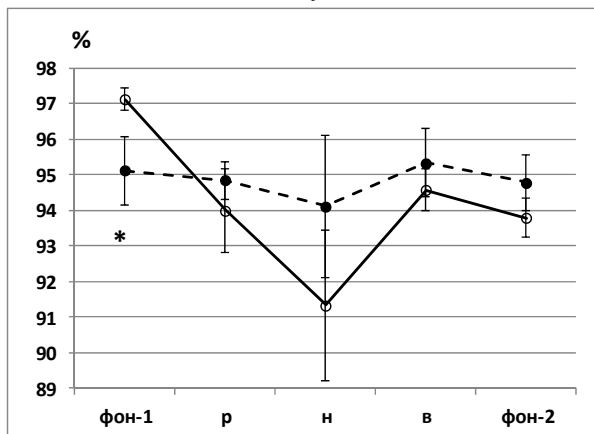


Рисунок 1 – Средние значения показателя SaO<sub>2</sub>(%) на различных этапах обследования («фон-1», «р», «н», «в», «фон-2») до (пунктирная линия) и после (сплошная линия) обучения ГВД. Обозначения: \* –  $p < 0,05$  – статистический уровень значимости различия показателя до и после ГВД

Как видно из рисунка 1 уровень насыщения артериальной крови кислородом меняется от этапа к этапу и зависит от обучения ГВД.

До обучения ГВД в исходном состоянии («фон-1») показатель SaO<sub>2</sub>(%) у испытуемых составил 95,1±1,0%. Далее спортсмен переходил к разминке, которая необходима для подготовки его организма к интенсивной физической работе. В процессе разминки организм «разогревается», повышается обмен веществ, запускается кардио-респираторная система, обеспечивается приток крови к мышечным волокнам. Из рисунка

1 видно, что короткая и легкая разминка практически не изменила уровень сатурации артериальной крови кислородом, что и отразилось в слабой тенденции к снижению показателя SaO<sub>2</sub>(%) до 94,8±0,5% (снижение на 0,3%).

Выполнение испытуемыми тестовой физической работы до отказа (этап «н») потребовало больших объемов кислорода для функционирования работающих мышц, а потому насыщение артериальной крови кислородом снизилось до 94,1±2,0% (норма – (95–98)%). При этом время физической работы до отказа составило 198,0±37,2 с, «физиологическая цена» выполненной работы – 108,8±8,2%, а показатели ЧСС и ЧД практически достигли верхней границы нормы (таблица 1). Все это позволяет говорить о *высокой активации кислородтранспортной системы организма испытуемых при физической работе до отказа.*

Таблица 1 – Средние значения времени физической работы до отказа (Т-отк), «физиологической цены» выполненной работы (р, %), частоты сердечных сокращений (ЧСС) и частоты дыхания (ЧД) в момент отказа у испытуемых до и после обучения ГВД

Показатели	До обучения ГВД	После обучения ГВД
Т-отк, с	198,0±37,2	546,2±144,4 *
р, %	108,8±8,2	131,5±9,0 *
ЧСС, уд/мин	171,3±3,0	182,1±5,1 *
ЧД, л/мин	26,0±1,2	25,6±1,0

Обозначения: \* –  $p < 0,05$  – статистически значимое различие показателей до и после обучения ГВД.

На этапе восстановления произошло повышение показателя SaO<sub>2</sub> (%), т.е. он практически вернулся к исходному уровню.

После обучения ГВД у испытуемых отмечено достоверное повышение задержек дыхания на вдохе с 61,0±8,2 до 152,8±9,2 с ( $p < 0,05$ ), что позволяет говорить о *повышении у них гипоксической устойчивости.*

Обучение ГВД изменило газовый гомеостазис испытуемых, нарушив баланс парциальных давлений O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> в крови. В результате в исходном состоянии («фон-1») при насыщении крови CO<sub>2</sub> средство гемоглобина к кислороду снижалось, а потому эритроциты начинали активно «освобождаться» от кислорода, который затем поступал в кровь.

Уровень сатурации артериальной крови кислородом повышался и становился достоверно более высоким, чем в исходном фоне до обучения ГВД, а именно  $97,1 \pm 0,3$  против  $95,1 \pm 1,0\%$  ( $p < 0,05$ ) соответственно. «Освободившийся» кислород, поступая в общий кровоток и в кровь тканевых капилляров, достигал мышц и диффундировал в мышечные клетки, обеспечивая их кислородом. Можно предположить, что такого рода насыщение крови кислородом перед физической нагрузкой является предпосылкой последующей высокой выносливости испытуемых.

Переход к короткой и легкой разминке (60 Вт, 1 мин) после обучения ГВД имел ряд особенностей. Поскольку обучение ГВД было направлено на формирование у испытуемого уреженного и неглубокого дыхания, то легочная вентиляция на этапе разминка у него была низкой. В результате углекислый газ плохо удалялся из альвеол, а потому показатель  $\text{SaO}_2(\%)$  в крови достоверно снизился с  $97,1 \pm 0,3$  до  $94,0 \pm 1,2\%$  ( $p < 0,05$ ) (снижение на 3,2%).

Выполнение тестовой физической нагрузки до отказа сопровождалось выраженным снижением показателя  $\text{SaO}_2(\%)$ , который в момент отказа достиг минимума –  $91,3 \pm 2,1\%$  (рисунок 1). Это обусловлено тем, что после обучения ГВД время физической работы до отказа (Т-отк) у испытуемых увеличилось с  $198,0 \pm 37,2$  до  $546,2 \pm 144,4$  с ( $p < 0,05$ ), т.е. на 176%, а «физиологическая цена» выполненной работы повысилась лишь на 21% ( $p < 0,05$ ) по сравнению с «физиологической ценой» до обучения ГВД (таблица 1). Отсюда следует, что выраженное повышение выносливости испытуемых сопровождалось экономизацией вегетативного обеспечения, а уровень сатурации артериальной крови кислородом был лишь на 2,8% ниже, чем до обучения ГВД. Все это позволяет заключить, что обучение ГВД, повышая гипоксическую устойчивость испытуемых, *«смягчает» негативное влияние длительной физической работы на процесс утилизации кислорода мышечными тканями.*

Так, по мнению И.В. Зарубиной (2011), при гипоксии в организме человека происходит включение защитно-приспособительных механизмов, направленных на поддержание гомеостаза. К такого рода механизмам можно отнести активацию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, гормоны которой (глюкокортикоиды), стабилизируя мембраны лизосом, снижают повреждающее действие гипоксии, повышают устойчивость тканей к недостатку кислорода [7]. Кроме того, при длительной физической работе в условиях гипоксии интенсифицируется обмен веществ, повышается температура тела спортсмена. Для отвода избыточного тепла компенсаторно расширяются кожные капилляры, что повышает приток крови к ним, «обкрадывая» при этом центральный кровоток. Заметим, что такого рода перераспределение крови снижает доставку кислорода к работающим мышцам, что и вносит свой вклад в минимизацию показателя  $\text{SaO}_2, \%$ . Дефицит кислорода в мышцах запускает процесс образования и накопления в них молочной кислоты, которая «забивает» мышцу, и, в конечном итоге, является причиной отказа от продолжения физической работы. Кроме того, на фоне роста молочной кислоты растет уровень  $\text{CO}_2$  в крови, что, в свою очередь, возбуждает дыхательный центр, способствуя росту легочной вентиляции. Это делает дыхание испытуемых частым и неглубоким, создавая условия для развития одышки. Следует заметить, что, по мнению И.С. Бреслава (2002), именно одышка является предвестником скорого отказа от выполнения физической работы [8]. Подчеркнем, что в момент отказа испытуемые жаловались не только на одышку, но и на боль в мышцах ног.

На этапе *восстановления* насыщение артериальной крови кислородом возвращается к норме. При этом показатель  $\text{SaO}_2(\%)$  проявляет «бурную» тенденцию к росту и к концу этапа восстановления становится равным  $94,6 \pm 0,6\%$ . Это обусловлено тем, что повышение легочной вентиляции способствует «вымыванию»  $\text{CO}_2$  из альвеол легких, тем самым создавая условия для повышения парциального давления кислорода в крови. Окончательное повышение уровня сатурации артериальной крови кислородом после физической нагрузки до отказа и восстановления можно регистрировать в завершающем состоянии («фон-2»), где показатель  $\text{SaO}_2(\%)$  составил  $93,8 \pm 0,5\%$ , что свидетельствует о

неполном восстановлении уровня сатурации артериальной крови кислородом.

Таким образом, обучение гиповентиляционному дыханию способствует повышению гипоксической устойчивости испытуемых, увеличивает уровень сатурации артериальной крови кислородом в покое, а при интенсивной физической работе до отказа «смягчает» негативное влияние длительной физической работы на процесс утилизации кислорода мышцами, интенсифицирует процесс восстановления уровня сатурации артериальной крови кислородом после нагрузки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Применение эргогенических средств в подготовке спортсменов / А.А. Шамардин, В.В. Чемов, А.И. Шамардин, И.Н. Солопов. – Саратов : Научная книга, 2008. – 209 с.
2. Фудин, Н.А. Газовый гомеостазис / Н.А. Фудин. – Тула : Тульский полиграфист, 2004. – 216 с.
3. Физиологические эффекты влияния гиповентиляционного дыхания на кардиореспираторную и мышечную систему человека при физической работе до отказа / Н.А. Фудин, С.Я. Классина, Ю.Е. Вагин, С.Н. Пигарева // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. – Т. 6, № 3. – С. 22-28.
4. Фудин, Н.А. Гиповентиляционное дыхание как средство повышения физической работоспособности человека при физической работе до отказа / Н.А. Фудин, С.Я. Классина, Ю.Е. Вагин // Теория и практика физической культуры. – 2016. – № 12. – С. 55-57.
5. Пупырева, Е.Д. Механизмы кислородного обеспечения организма спортсменов в покое и при нагрузках максимальной мощности / Е.Д. Пупырева, М.В. Балыкин // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2013. – № 1. – С. 124-130.
6. Классина, С.Я. Физиологическая модель социального взаимодействия тренер-спортсмен в процессе тренировки на велоэргометре / С.Я. Классина // Вестник новых медицинских технологий. – 2014. – Т. 21, № 3. – С. 122-126.
7. Зарубина, И.В. Современные представления о патогенезе гипоксии и ее фармакологической коррекции / И.В. Зарубина // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. – 2011. – Т. 9, № 3. – С. 31-48.
8. Бреслав, И.С. Феномен отказа в мышечной деятельности. Роль системы дыхания / И.С. Бреслав, Н.И. Волков // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 1. – С. 121-129.

#### REFERENCES

1. Shamardin, A.A., Chemov, V.V., Shamardin, A.I. and Solopov, I.N. (2008), *The use of ergogenic means in the preparation of athletes: monograph*, Scientific Book, Saratov.
2. Fudin, N.A. (2004), *Gas homeostasis*, Tula printing house, Tula.
3. Fudin, NA, Klassina, S.Ya., Vagin, Yu.E. and Pigareva, S.N. (2016), “Physiological effects of the influence of hypoventilation breathing on the cardiorespiratory and muscular system of a person in physical work to failure”, *Sports Medicine: Research and Practice*, No. 6 (3), pp. 22-28.
4. Fudin, N.A., Klassina, S.Ya. and Vagin, Yu.E. (2016), “Hypoventilation breathing as a means of increasing the person's physical performance in physical work to failure”, *Theory and Practice of Physical Culture*, No. 12, pp. 55-57.
5. Pupyreva, E.D. and Balakin, M.V. (2013), “The mechanisms of oxygen supply of the body of athletes at rest and at maximum power loads”, *Ulyanovsk Biomedical Journal*, No. 1, pp. 124-130.
6. Klassina, S.Ya. (2014), “Physiological model of social interaction coach-sportsman in the process of training on a veloergometer”, *Herald of new medical technologies*, No. 21 (3), pp. 122-126.
7. Zarubina, I.V. (2011), “Modern ideas about the pathogenesis of hypoxia and its pharmacological correction”, *Clinical Pharmacology and Drug Therapy Reviews*, No. 9 (3), pp. 31-48.
8. Breslav, I.S. and Volkov, N.I. (2002), “The phenomenon of failure in muscle activity. The role of the respiratory system”, *Human physiology*, No. 28 (1), pp. 121-129.

**Контактная информация:** klassina@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 23.05.2019*