



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ В ИЗМЕНЕННОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ В РАБОТЕ ДО ОТКАЗА

Е.В. НИКЕНИНА, И.В. АЛЕКСЕЕВА, А.Ю. КОЗЛОВ,
Н.А. ФУДИН, С.С. ПЕРЦОВ, А.Ю. АБРАМОВА

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П. К. Анохина»,
ул. Балтийская, д. 8, г. Москва, 125315, Россия, e-mail: nphys@nphys.ru, kiv24irina@mail.ru

Аннотация. Введение. Анализируя систему тренировочного процесса спортсменов высшей квалификации, необходимо особо отметить, что в настоящее время их подготовка – это чрезвычайно сложный и многофакторный процесс, опирающийся на самые современные достижения медико-биологической науки. При этом продолжается интенсивный научный поиск физиологического обоснования неинвазивных методов тренировок, обеспечивающих рост спортивных результатов. В настоящее время научно и практически доказано, что одним из таких методов является сочетанное применение вентиляторно-гипоксических и физических нагрузок, повышающих физиологическую устойчивость при выполнении тренировочной и соревновательной работы большого объема и интенсивности. Физиологическая обоснованность представленных методов тренировок была проверена обширными исследованиями при сочетанных гипоксических воздействиях на функциональную систему дыхания. При этом было выявлено, что измененный кислородный режим вызывает компенсаторные изменения в вентиляции и газообмене, сопровождающиеся сложной физиологической перестройкой во внешнем и внутреннем звене саморегуляции функциональной системы дыхания. Учитывая повышенный научный и практический интерес к данной проблеме, нами были проведены дополнительные экспериментальные исследования на животных. **Цель исследования** – изучение влияния сочетанных гипоксических воздействий на функциональные и метаболические показатели, повышающих физическую работоспособность при различных режимах физической нагрузки. **Материалы и методы исследования.** Под наблюдением находились 32 крысы-самца Вистар, разделенные на 4 экспериментальные группы: интактная группа, с умеренной физической нагрузкой, с гипоксической тренировкой и группа с сочетанным воздействием гипоксических тренировок в работе до отказа. **Результаты и их обсуждение.** На основании полученных результатов при проведении комплексного экспериментального исследования, были выявлены изменения физиологических показателей, вызванных сочетанным гипоксическим воздействием, не только в структуре дыхания и газообмена, но и в метаболических процессах. **Заключение.** Полученные результаты в эксперименте на животных подтверждают целесообразность практического использования сочетанных гипоксических тренировок в целях повышения уровня работоспособности в спортивной практике.

Ключевые слова: гипоксическое воздействие, физическая выносливость, показатели метаболизма, крысы.

THE EFFECT OF HYPOVENTILATION BREATHING AND MODERATE MOTOR LOAD ON METABOLIC PARAMETERS AND PHYSICAL ENDURANCE IN RATS

E.V. NIKENINA, I.V. ALEKSEEVA, A.Yu. KOZLOV,
N.A. FUDIN, S.S. PERTSOV, A.Yu. ABRAMOVA

P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology
Baltiyskaya str., 8, Moscow, 125315, Russia, e-mail: nphys@nphys.ru, kiv24irina@mail.ru

Abstract. Analyzing the system of the training process of highly qualified athletes, it should be especially noted that at present their training is an extremely complex and multifactorial process, based on the most modern achievements of biomedical science. At the same time, an intensive scientific search continues for the physiological justification of non-invasive training methods that ensure the growth of sports results. At present, it has been scientifically and practically proven that one of such methods is the combined use of ventilatory-hypoxic and physical loads that increase physiological stability during training and competitive work of a large volume and intensity. The physiological validity of the presented training methods has been verified by extensive studies with combined hypoxic effects on the functional respiratory system. At the same time, it was revealed that the changed oxygen regime causes compensatory changes in ventilation and gas exchange, accompanied by a complex physiological restructuring in the external and internal link of self-regulation of the functional respiratory system. Given the increased scientific and practical interest in this problem, we conducted additional experi-

mental studies on animals. *The purpose of the study* was to study the effect of combined hypoxic effects on functional and metabolic parameters that increase physical performance under various physical activity regimens. *Materials and methods*. We observed 32 male Wistar rats divided into 4 experimental groups: an intact group, with moderate exercise, with hypoxic training, and a group with a combined effect of hypoxic training in work to failure. Results and its discussion. Based on the results obtained during a comprehensive experimental study, changes in physiological parameters caused by combined hypoxic exposure were revealed, not only in the structure of respiration and gas exchange, but also in metabolic processes. *Conclusion*. The results obtained in the experiment on animals confirm the expediency of the practical use of combined hypoxic training in order to increase the level of performance in sports practice.

Keywords: hypoxic effect, physical endurance, metabolic parameters, rats.

Введение. В настоящее время внимание многих специалистов медико-биологического профиля сосредоточено на изучении влияния гиповентиляции на адаптационные механизмы человека. В частности, в работах Н.А. Фудина [12] было показано влияние гиповентиляционных тренировок на локомоторную функцию и сердечную деятельность у спортсменов. Авторы отмечают, что увеличение физических нагрузок сопровождается нарастанием уровня гипоксии в организме. Кроме этого, было показано, что гиповентиляционные тренировки эффективно повышают устойчивость спортсменов к вентиляторной и двигательной гипоксии, физическую выносливость и снижают легочную вентиляцию, переводя дыхание в более экономичный режим [6, 7]. Таким образом, повышение гипоксической устойчивости при выполнении физической работы является актуальным вопросом современной науки [6, 7].

Сочетание гиповентиляционного дыхания и двигательной нагрузки можно рассматривать также как экстремальное внешние воздействия, которые могут являться причиной возникновения метаболических расстройств. Для оценки характера влияния внешних и внутренних факторов на состояние гомеостаза одним из наиболее информативных критериев являются колебания показателей метаболизма. Основными среди данных показателей являются объемы поглощаемого кислорода, выдыхаемого углекислого газа, а также уровень тепловыделения [13] и лактата.

Несмотря на значительный интерес к исследованию данных процессов, многие вопросы в этой области остаются не решенными. Отсутствуют сведения о характере влияния гиповентиляционных тренировок с последующими регулярными физическими упражнениями на основные метаболические характеристики и физическую работоспособность у млекопитающих.

Цель исследования – изучение влияния сочетанных гипоксических воздействий на функциональные и метаболические показатели, повышающих физическую работоспособность при различных режимах физической нагрузки.

Материалы и методы исследования. Исследования проведены на 32 крысах-самцах Вистар (масса тела – 230 ± 10 г, возраст – 2-2,5 мес.) в светлое время суток в осенне-зимний период. Крысы находились в виварии на стандартном пищевом рационе в условиях искусственного освещения. При проведении опытов руководствовались «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных», утвержденными на заседании этической комиссии НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина (протокол №1 от 3.09.2005), требованиями *Всемирного общества защиты животных (WSPA)* и Европейской конвенции по защите экспериментальных животных.

Для оценки физической выносливости крыс в работе до отказа использовали модификацию теста Порсолта (*Porsolt*) [3]: плавание проводили в сосуде, высота воды 0,8-0,9 м, температура $+20-22^\circ\text{C}$ [2]. Окончанием теста считали отказ животного от плавания, то есть его полное погружение под «водное зеркало» на 5 секунд.

Уровень лактата и физическую выносливость определяли в исходном состоянии и по окончании исследования у животных всех экспериментальных групп.

Были сформированы 4 экспериментальные группы по 8 животных в каждой. Интактные животные 1-й группы служили в качестве контроля при изменении метаболических показателей у крыс. Экспериментальные группы подвергались соответствующим процедурам ежедневно в течение 7 дней: 2-я группа – 60 минутное гипоксическое воздействие; 3-я группа – физическая нагрузка (плавание в воде при температуре $+20-22^\circ\text{C}$ в течение 1-й минуты); 4-я группа – получала физическую нагрузку плавания в воде в сочетании с гипоксическим воздействием.

Условия гипоксического воздействия обеспечивали в автоматизированной модульной установке *Phenomaster (TSE Systems GmbH, Germany)*. Данный комплекс позволяет снижать подачу атмосферного воздуха со стандартной скорости 5 л/мин до 0,06 л/мин.

Показатели интенсивности метаболизма у крыс определяли с помощью указанной выше установки. Непрямую калориметрию проводили с использованием модуля *CaloSys*, позволяющего измерять расход энергии с помощью датчиков газов для метаболического фенотипирования. Перед посадкой в метаболические клетки у крыс измеряли массу тела. Животных помещали в указанные клетки на 1 ч для регистрации анализируемых показателей. Данное оборудование позволяет проводить высокоточные изме-

рения объемов потребляемого кислорода (VO_2 , мл/ч/кг) и выдыхаемого углекислого газа (VCO_2 , мл/ч/кг) в единицу времени с учетом массы тела животного. Калориметрический показатель – уровень выделения тепла в единицу времени – рассчитывали по количеству потребленного крысами кислорода и выделенного углекислого газа также с учетом массы тела животного (Н, ккал/ч/кг). Регистрацию метаболических показателей проводили до физической нагрузки на 7-й день экспериментов.

Определение лактата. Уровень лактата крови измеряли в ммоль/л с помощью тест-полосок БМ-лактат на биохимическом экспресс-анализаторе «Аккутренд Лактат» (Рош Диагностик Гмбх, Германия).

Оценку межгрупповых различий между зависимыми переменными проводили с помощью теста согласованных пар Вилкоксона. Для установления межгрупповых различий между независимыми переменными использовали непараметрический U -критерий Манна-Уитни. Данные в таблицах представлены в виде медианы и квартилей Q_1 , Q_3 . Минимальный принятый уровень значимости межгрупповых отличий составлял 5%.

Результаты и их обсуждение. По данным ряда авторов сочетанные гипоксические тренировки эффективно применяются для повышения специальной работоспособности у спортсменов [1, 11]. При этом отмечается повышение устойчивости к вентиляторной, двигательной гипоксии на фоне повышения физической работоспособности и снижение легочной вентиляции [9, 10].

На первом этапе работы был изучен характер изменений максимального времени плавания у крыс разных экспериментальных групп. Полученные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальное время плавания крыс разных экспериментальных групп (минут; Ме ($Q_1;Q_3$))

Группа	Экспериментальные условия	Максимальное время плавания	
		исходно	7-е сутки
1	Интактные крысы	18,29 (16,62; 18,91)	19,60 (16,17; 20,76)
2	Гипоксическое воздействие	19,75 (12,38; 25,40)	30,65 (22,25; 34,07)
3	Умеренная физическая нагрузка	15,74 (14,30; 17,25)	31,66 (22,88; 39,01) *
4	Сочетанное воздействие гипоксической тренировки и умеренной физической нагрузки	18,31 (13,81; 21,75)	34,83 (31,08; 40,82) *

Примечание: * – $p < 0,05$ по сравнению с исходными данными

Таблица 2

Концентрация лактата в крови крыс разных экспериментальных групп (ммоль/л; Ме ($Q_1;Q_3$))

Группа	Экспериментальные условия	Концентрация лактата	
		исходно	7-е сутки
1	Интактные крысы	3,30 (3,20; 3,40)	2,40 (2,10; 2,50)
2	Гипоксическое воздействие	2,70 (2,40; 4,10)	1,90 (1,00; 3,30)
3	Умеренная физическая нагрузка	2,30 (1,50; 2,75)	1,85 (1,35; 2,75)
4	Сочетанное воздействие гипоксической тренировки и умеренной физической нагрузки	2,10 (1,90; 2,70)	0,90 (0,90; 1,20) *

Примечание. * $p < 0,05$ по сравнению с исходными данными

Выявлено увеличение времени плавания на 7-е сутки исследования как у животных, получавших ежедневную физическую нагрузку в сочетании с гипоксическим воздействием, так и у животных с изолированной физической нагрузкой (по сравнению с исходными значениями, $p < 0,05$). Наблюдаемый эффект может быть обусловлен физиологической адаптацией энергетических процессов с повышением физиологических возможностей локомоторного аппарата к сочетанному воздействию гипоксических стимулов.

В дальнейшем мы проанализировали изменение содержания лактата периферической крови крыс в исходном состоянии и по окончании исследования у животных разных экспериментальных групп. Данные приведены в табл. 2.

Статистически значимые изменения изученного показателя были обнаружены только у животных с регулярной физической нагрузкой в сочетании с гипоксическим воздействием по сравнению с исходными данными. На 7-е сутки у этих особей было выявлено снижение уровня лактата в крови по сравнению с исходными показателями ($p < 0,05$). Во 2-й группе с ежедневным гипоксическим воздействием мы наблюдали тенденцию к снижению уровня лактата по сравнению с исходными значениями. По данным ряда авторов, гипоксия должна сопровождаться увеличением уровня лактата в крови, причем кратность сопряжена со степенью выраженности гипоксии [14]. В нашем эксперименте противоположные изменения уровня лактата на фоне сочетанных гипоксических тренировок, а также тенденция к снижению указанного показателя во 2-й группе согласуется с результатами работ, посвященных исследованию концентрации лактата на фоне задержки дыхания в период восстановления после физической нагрузки [15, 16]. Авторы указывают, что полученное снижение концентрации исследуемого показателя может быть следствием адаптации. В нашей работе отсутствие изменений в уровне сывороточного лактата в группе с регулярной физической нагрузкой можно объяснить тем, что ежедневное увеличение уровня лактата после физической нагрузки в течение недели достаточно для того, чтобы активировались адаптационные процессы на фоне указанной нагрузки.

Результаты исследований метаболических показателей интенсивности обменных процессов у крыс в разных экспериментальных условиях на 7-е сутки исследования представлены в табл. 3.

Таблица 3

Расчётные показатели объема потребляемого кислорода (VO_2 , мл/ч/кг), выдыхаемого углекислого газа (VCO_2 , мл/ч/кг) и выделения тепла в единицу времени (H , ккал/ч/кг) с учётом массы тела крысы (Me (Q_1 ; Q_3))

Группа	Экспериментальные условия	VO_2	VCO_2	H
1	Интактные крысы	1813,00 (1614,00; 1867,500)	1530,00 (1458,50; 1599,00)	8,84 (7,97; 9,13)
2	Гипоксическое воздействие	171,00 (150,00; 175,00) *	170,00 (150,00; 177,00) *	0,86 (0,76; 0,88) *
3	Умеренная физическая нагрузка	1804,50 (1379,00; 2439,50)	1660,00 (1533,00; 2385,00)	8,95 (12,25; 7,13)
4	Сочетанное воздействие гипоксической тренировки и умеренной физической нагрузки	180,50 (154,00; 201,00) **	174,50 (147,00; 194,50) **	0,90 (0,77; 1,00) **

Примечание: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,05$ по сравнению с интактными крысами

Были проанализированы изменения метаболических показателей животных с гипоксическим воздействием и у крыс, получавших регулярную физическую нагрузку сразу же после гипоксических воздействий. У особей других экспериментальных групп статистически значимых изменений выявлено не было. Нами было установлено статистически значимое уменьшение изучаемых параметров, как у животных, подвергшихся гипоксическому воздействию ($p < 0,05$), так и у животных, выполнивших физическую нагрузку в сочетании с гипоксическим воздействием ($p < 0,01$) по сравнению с интактными особями. Снижение потребления кислорода у крыс с гипоксическим воздействием, по-видимому, связано с повышением устойчивости к гипоксии при последующих сочетанных гипоксических тренировках. При этом, снижение тепловыделения сопряжено с уменьшением энерготрат для сохранения физиологического равновесия. В опытной группе подобные изменения обусловлены, по-видимому, более экономичным дыханием, которое сформировалось в результате ежедневных гипоксических тренировок. Уменьшение тепловыделения мы объясняем компенсаторным снижением энергетических процессов на фоне гипоксии, то есть адаптацией организма к условиям пониженного уровня кислорода во вдыхаемом воздухе.

Заключение. Анализируя представленный в статье экспериментальный материал, можно сделать вывод о том, что сочетанное гипоксическое воздействие на внешнее звено саморегуляции функциональной системы дыхания влияют на показатели внутреннего звена дыхания, в результате чего изменяются вегетативные функции и метаболические процессы в организме. Научно доказано, что физиологические механизмы указанных компенсаторных процессов формируются в результате адаптации дыхательного центра к повышенному содержанию двуокиси углерода [1, 9, 10]. При этом складываются принципиально

новые более эффективные и экономичные вегетативные и метаболические взаимоотношения в организме, которые формируют повышенную работоспособность на новом физиологическом уровне [4, 5, 11].

В представленных экспериментальных исследованиях, на фоне сочетанных гипоксических воздействий отмечается снижение потребления кислорода, выделение углекислого газа, а также тепловыделение. При этом на фоне постоянного уровня лактата в крови достоверно увеличивается время физической работы до отказа.

Вместе с тем, представленный в статье достаточно обширный экспериментальный материал не исчерпывает компенсаторного физиологического многообразия вентиляторно-газообменных и метаболических функций организма при сочетанных гипоксических воздействиях, что, безусловно, требует дальнейших дополнительных исследований.

Литература

1. Агаджанян Н.А., Чижов А.Я. Классификация гипоксических состояний. М., 1998, 24 с.
2. Каркищенко В.Н., Берзин И.А., Касинская Н.В., Деньгина С.Е., Степанова О.И., Фокин Ю.В., Ревякин А.О., Капанадзе Г.Д., Матвеев Е.Л. Оценка физической выносливости мелких лабораторных животных на фоне применения спортивного питания "МيوАктивФорсаж" // Биомедицина. 2013. № 4. С. 66–69.
3. Ковалева М.А., Макарова М.Н., Макаров В.Г., Горячева М.А. Применение теста "принудительное плавание" при проведении доклинических исследований // Международный вестник ветеринарии. 2015. № 4. С. 90–95.
4. Сокунова С.Ф., Коновалова Л.В., Вавилов В.В. Применение интервальной гипоксической тренировки в сезонной подготовке бегунов на средние дистанции // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2009. № 5(51). С. 86–88.
5. Тимофеев Н.Н., Королев Ю.Н., Голубев В.Н. Динамика показателей физической работоспособности под влиянием гипоксических тренировок // Актуальные проблемы физической подготовки силовых структур. 2012. № 4. С. 50–54.
6. Фудин Н.А., Классина С.Я., Вагин Ю.Е. Влияние гиповентиляционного дыхания и интенсивной физической работы на уровень сатурации артериальной крови кислородом у квалифицированных спортсменов // Вестник новых медицинских технологий. 2019. Т. 26. № 3. С. 90–93.
7. Фудин Н.А., Классина С.Я., Пигарева С.Н., Вагин Ю.Е. Влияние гиповентиляционного дыхания на физическую работоспособность и функциональное состояние квалифицированных спортсменов при выполнении физической работы до отказа // Теория и практика физической культуры. 2019. № 12. С. 29–31.
8. Фудин Н.А., Классина С.Я., Пигарева С.Н., Вагин Ю.Е. Сочетанное влияние гиповентиляционных и физических упражнений на степень мышечного утомления при работе до отказа // Теория и практика физической культуры. 2018. № 10. С. 10–12.
9. Фудин Н.А., Хадарцев А.А., Орлов В.А. Медико-биологические технологии в физической культуре и спорте. М.: Спорт, Человек, 2018. 320 с.
10. Фудин Н.А. Газовый гомеостазис (произвольное формирование нового стереотипа дыхания). Тула : Тульский полиграфист, 2004. 216 с.
11. Фудин Н.А. Физиологические механизмы произвольной регуляции дыхания при занятиях спортом. М.: Спорт, 2020, 224 с.
12. Фудин Н.А., Вагин Ю.Е., Классина С.Я. Влияние гиповентиляционной тренировки на скоростно-силовую работу спортсменов // Наука и спорт: современные тенденции. 2022. Т. 10, № 1. С. 62–69. DOI:10.36028/2308-8826-2022-10-1-62-69
13. Pertsov S.S., Alekseeva I.V., Abramova A.Y., Nikenina E.V., Kozlov A.Y., Koplík E.V., Martyushcheva A.S. Dynamics of metabolic measures in rats at different stages of the poststress period in conditions of antigen exposure by administration of lipopolysaccharide // Neuroscience and Behavioral Physiology. 2022. №1. P. 101–102.
14. Yamamoto Y., Mutoh Y., Kobayashi H., & Miyashita M. Effects of reduced frequency breathing on arterial hypoxemia during exercise // Europ. J. Appl. Physiol. 1987. Vol. 56. P. 522–527. DOI:10.1007/BF00635364
15. Yamamoto Y., Takei Y., Mutoh Y., Miyashita M. Delayed appearance of blood lactate with reduced frequency breathing during exercise // Europ. J. Appl. Physiol. 1988. Vol. 57. P. 462–466 DOI:10.1007/BF00417994
16. Zoladz J.A., Duda K., Majerczak J. Oxygen uptake does not increase linearly at high power outputs during incremental exercise test in humans // Eur J. Appl. Physiol. 1998. Vol. 77(5) P. 445–451. DOI:10.1007/s004210050358

References

1. Agadzhanjan NA, Chizhov AJa. Klassifikacija gipoksicheskikh sostojanij [Classification of hypoxic states]. M., 1998. Russian.
2. Karkishhenko VN, Berzin IA, Kasinskaja NV, Den'gina SE, Stepanova OI, Fokin JuV, Revjakin AO, Kapnadze GD, Matveenko EL. Ocenka fizicheskoj vynoslivosti melkih laboratornyh zivotnyh na fone primenenija sportivnogo pitaniija "MioAktivForsazh"[Assessment of physical endurance of small laboratory

animals against the background of the use of sports nutrition "Myoactivforsage"]. *Biomedicina*. 2013;4:66-9. Russian.

3. Kovaleva MA, Makarova MN, Makarov VG, Gorjacheva MA. Primenenie testa "prinuditel'noe plavanie" pri provedenii doklinicheskikh issledovanij [Application of the "forced swimming" test during preclinical studies]. *Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii*. 2015;4:90-5. Russian.

4. Sokunova SF, Konovalova LV, Vavilov VV. Primenenie interval'noj gipoksicheskoj trenirovki v sezonnoj podgotovke begunov na srednie distancii [Application of interval hypoxic training in seasonal training of middle-distance runners]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*. 2009;5(51):86-8. Russian.

5. Timofeev NN, Korolev JuN, Golubev VN. Dinamika pokazatelej fizicheskoj rabotosposobnosti pod vlijaniem gipoksicheskikh trenirovok [Dynamics of physical performance indicators under the influence of hypoxic training]. *Aktual'nye problemy fizicheskoj podgotovki silovykh struktur*. 2012;4:50-4. Russian.

6. Fudin NA, Klassina SJ, Vagin JuE. Vlijanie gipoventiljacionnogo dyhanija i intensivnoj fizicheskoj raboty na uroven' saturacii arterial'noj krovi kislorodom u kvalificirovannykh sportsmenov [The influence of hypoventilation breathing and intensive physical work on the level of arterial blood oxygen saturation in qualified athletes]. *Vestnik novyh medicinskih tehnologij*. 2019;26(3):90-93. Russian.

7. Fudin NA, Klassina SJ, Pigareva SN, Vagin JuE. Vlijanie gipoventiljacionnogo dyhanija na fizicheskiju rabotosposobnost' i funkcional'noe sostojanie kvalificirovannykh sportsmenov pri vypolnenii fizicheskoj raboty do otkaza [The effect of hypoventilation breathing on the physical performance and functional state of qualified athletes when performing physical work to failure]. *Teorija i praktika fizicheskoj kul'tury*. 2019;12:29-31. Russian.

8. Fudin NA, Klassina SJ, Pigareva SN, Vagin JuE. Sochetannoe vlijanie gipoventiljacionnykh i fizicheskikh uprazhnenij na stepen' myshechnogo utomlenija pri rabote do otkaza [Combined effect of hypoventilation and physical exercises on the degree of muscle fatigue when working to failure]. *Teorija i praktika fizicheskoj kul'tury*. 2018;10:10-2. Russian.

9. Fudin NA, Hadarcev AA, Orlov VA. Mediko-biologicheskie tehnologii v fizicheskoj kul'ture i sporte [Medical and biological technologies in physical culture and sports]. M.: Sport, Chelovek, 2018. Russian.

10. Fudin NA. Gazovyy gomeostazis (proizvol'noe formirovanie novogo stereotipa dyhanija) [Gas homeostasis (arbitrary formation of a new stereotype of breathing)]. Tula : Tul'skij poligrafist; 2004. Russian.

11. Fudin NA. Fiziologicheskie mehanizmy proizvol'noj reguljacii dyhanija pri zanjatijah sportom [Physiological mechanisms of voluntary regulation of respiration during sports]. M.: Sport, 2020. Russian.

12. Fudin NA, Vagin JuE, Klassina SJ. Vlijanie gipoventiljacionnoj trenirovki na skorostno-silovuju rabotu sportsmenov [the influence of hypoventilation training on the speed and strength work of athletes]. *Nauka i sport: sovremennye tendencii*. 2022;10(1):62-9. DOI:10.36028/2308-8826-2022-10-1-62-69 Russian.

13. Pertsov SS, Alekseeva IV, Abramova AY, Nikenina EV, Kozlov AY, Koplik EV, Martjusheva AS. Dynamics of metabolic measures in rats at different stages of the poststress period in conditions of antigen exposure by administration of lipopolysaccharide. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2022;1:101-2.

14. Yamamoto Y, Mutoh Y, Kobayashi H, Miyashita M. Effects of reduced frequency breathing on arterial hypoxemia during exercise. *Europ. J. Appl. Physiol*. 1987;56:522-7. DOI:10.1007/BF00635364

15. Yamamoto Y, Takei Y, Mutoh Y, Miyashita M. Delayed appearance of blood lactate with reduced frequency breathing during exercise. *Europ. J. Appl. Physiol*. 1988;57:462-6 DOI:10.1007/BF00417994

16. Zoladz JA, Duda K, Majerczak J. Oxygen uptake does not increase linearly at high power outputs during incremental exercise test in humans. *Eur J. Appl. Physiol*. 1998;77(5):445-51. DOI:10.1007/s004210050358

Библиографическая ссылка:

Никенина Е.В., Алексеева И.В., Козлов А.Ю., Фудин Н.А., Перцов С.С., Абрамова А.Ю. Экспериментальные исследования физической работоспособности в измененной газовой среде в работе до отказа // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2023. №4. Публикация 1-5. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-4/3-3.pdf> (дата обращения: 18.07.2023). DOI: 10.24412/2075-4094-2023-4-3-3. EDN JQVTIP *

Bibliographic reference:

Nikenina EV, Alekseeva IV, Kozlov AY, Fudin NA, Pertsov SS, Abramova AY. Jeksperimental'nye issledovanija fizicheskoj rabotosposobnosti v izmenennoj gazovoj srede v rabote do otkaza [The effect of hypoventilation breathing and moderate motor load on metabolic parameters and physical endurance in rats]. *Journal of New Medical Technologies, e-edition*. 2023 [cited 2023 July 18];4 [about 6 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-4/3-3.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2023-4-3-3. EDN JQVTIP

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-4/e2023-4.pdf>

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