



СОСТОЯНИЕ ОРГАНОВ-МАРКЕРОВ СТРЕССА И УРОВЕНЬ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ КРЫС ПОСЛЕ УМЕРЕННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ В УСЛОВИЯХ ГИПОВЕНТИЛЯЦИИ

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

ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий»,
ул. Балтийская, д. 8, г. Москва 125315, Россия, e-mail: alekseeva_iv@academpharm.ru

Аннотация. В настоящее время внимание многих специалистов медико-биологического профиля сосредоточено на изучении влияния гипоксического воздействия на физиологические параметры млекопитающих. Несмотря на значительный интерес к исследованию данных процессов, многие вопросы в этой области остаются не решенными. Отсутствуют сведения о характере воздействия гиповентиляционных нагрузок на состояние органов маркеров-стресса и содержание глюкозы в крови после умеренных физических тренировок. **Цель исследования** – изучить влияния ежедневных физических нагрузок после гиповентиляционных воздействий на показатели углеводного обмена, а также состояние тимуса и надпочечников у крыс. **Материалы и методы исследования.** Исследования были проведены на 32 крысах-самцах Вистар. Было сформировано 4 экспериментальные группы: интактная группа, с гиповентиляционным воздействием, с физической нагрузкой и с сочетанным воздействием гиповентиляции и физической нагрузки. **Результаты и их обсуждение.** Ежедневная физическая нагрузка на фоне гиповентиляционного воздействия приводит к снижению относительной массы надпочечников. После изолированного гиповентиляционного воздействия или физической нагрузки, но не при сочетанном влиянии этих факторов, выявлено увеличение уровня глюкозы в крови животных. **Заключение.** Полученные данные позволяют предположить, что указанные изменения обусловлены процессами декомпенсации, связанными с истощением гуморального звена регуляции физиологических функций при стрессорных нагрузках.

Ключевые слова: органы-маркеры стресса, уровень глюкозы в крови, гиповентиляционное воздействие, физическая нагрузка.

STATE OF STRESS-MARKER ORGANS AND BLOOD GLUCOSE LEVELS IN RATS AFTER MODERATE PHYSICAL EXERCISE UNDER HYPOVENTILATION CONDITIONS

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

Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center for Original and Advanced Biomedical and Pharmaceutical Technologies,” 8 Baltiyskaya St., Moscow 125315, Russia,
e-mail: alekseeva_iv@academpharm.ru

Abstract. Currently, the attention of many medical and biological specialists is focused on studying the effects of hypoxic exposure on the physiological parameters of mammals. Despite considerable interest in investigating these processes, many questions in this area remain unresolved. There is a lack of information regarding the effects of hypoventilation stress on the state of stress-marker organs and blood glucose levels following moderate physical exercise. **The Purpose of the Study** was to investigate the effects of daily physical exercise after hypoventilation exposure on carbohydrate metabolism parameters, as well as on the thymus and adrenal glands in rats. **Materials and Methods.** The study was conducted on 32 male Wistar rats. Four experimental groups were formed: an intact control group, a group exposed to hypoventilation, a group subjected to physical exercise, and a group with combined hypoventilation and physical exercise. **Results and Discussion.** Daily physical exercise under hypoventilation conditions led to a decrease in the relative mass of the adrenal glands. After isolated hypoventilation or physical exercise, but not under the combined influence of these factors, an increase in blood glucose levels was observed in the animals. **Conclusion.** These findings suggest that the observed changes are associated with decompensation processes related to the depletion of the humoral component of physiological regulation under stress conditions.

Keywords: stress-marker organs, blood glucose level, hypoventilation exposure, physical exercise

Введение. В настоящее время внимание специалистов медико-биологического профиля сосредоточено на изучении влияния гиповентиляционных воздействий на физиологические параметры млекопитающих. Такие исследования наиболее важны в спорте высших достижений с целью разработки новых подходов к повышению физической выносливости человека. В частности, установлено, что у бегунов на

средние дистанции выполнение тренировок в условиях затрудненного дыхания приводит к физиологически более экономичному и одновременно эффективному функционированию сердечно-сосудистой системы [20]. Данное обстоятельство связано с влиянием произвольной гиповентиляции, которая вызывает состояние относительной гипоксии и гиперкапнии и, как следствие, способствует поддержанию констант организма в пределах физиологической нормы. В работе [3] выявлено, что гиповентиляционная тренировка приводит к увеличению работоспособности спортсменов за счет повышения устойчивости к вентиляционной и двигательной гипоксии. Улучшению результата в этих условиях способствуют изменения вегетативного тонуса и гемодинамики, возбуждение спинальных мотонейронов. В наших предыдущих экспериментах на крысах обнаружено влияние гиповентиляционных тренировок на показатели интенсивности обменных процессов при физической нагрузке, что проявилось в снижении объемов потребления кислорода и выделения углекислого газа, уменьшении тепловыделения [9]. На основании полученных результатов высказано предположение, что выявленные изменения являются результатом адаптации дыхательного центра к повышенному содержанию двуокиси углерода и носят компенсаторный характер.

Состояние физиологического стресса неизменно включает в себя адаптацию человека к изменяющимся условиям внешней среды и, в частности, к повышенной физической активности [16]. С другой стороны, известно, что умеренная физическая нагрузка улучшает адаптивные возможности организма [18]. По мнению К.В. Судакова, стресс представляет собой разветвленную системную реакцию организма [15]. Еще в 1946 г. *H. Selye* [25] описал, так называемый, «общий адаптационный синдром» или «синдром биологического стресса», который проявляется снижением массы тимуса и лимфатических узлов, многочисленными изъязвлениями на всем протяжении желудочно-кишечного тракта, а также гипертрофией коркового вещества надпочечников. По «классической триаде *Selye*» выделяют следующие стадии развития биологического стресса: тревоги, резистентности и истощения. При этом последняя из них не является обязательной и наблюдается в условиях влияния сильного или длительно действующего повреждающего фактора. *H. Selye* были введены такие термины как: эустресс – «положительный» стресс, адаптивный, организующий и дистресс – оказывающий негативное воздействие на организм животных и человека. Существенно, что при дистрессе происходит нарушение процессов адаптации к разнообразным внешним воздействиям, что может быть причиной развития целого ряда патологических состояний [10].

В исследованиях, проведенных ранее, продемонстрировано, что плавание является мощным стрессогенным фактором для грызунов [17]. Таким образом, одной из наиболее адекватных моделей физического стресса у крыс является «плавание до отказа» в тесте Порсолта [12].

Часто встречающимся последствием стрессорных воздействий у млекопитающих являются метаболические расстройства, в частности, нарушения обмена углеводов [1, 2]. В периоды интенсивной физической активности потребность в углеводах увеличивается до 5-8 г/кг массы тела [19]. В этих условиях потребление экзогенных углеводов может значительно повысить спортивную работоспособность [22]. Измерение уровня глюкозы в крови является важным шагом в диагностике истощения запасов гликогена в печени из-за чрезмерной физической активности [11].

Несмотря на значительный интерес к изучению адаптационных механизмов при гипоксических воздействиях, многие процессы в этой области остаются не раскрытыми. В частности, отсутствуют сведения о характере воздействия гиповентиляционных нагрузок на состояние органов маркеров-стресса и содержание глюкозы в крови после умеренных физических тренировок.

Цель исследования – изучение влияния ежедневных физических нагрузок после гиповентиляционных воздействий на показатели углеводного обмена, а также состояние тимуса и надпочечников у крыс.

Материалы и методы исследования Работа была выполнена на крысах-самцах линии Вистар ($n = 32$) в возрасте 2-2,5 месяца, с массой тела 230 ± 10 г. Животные находились в условиях вивария на стандартном пищевом рационе. Исследование выполнено с соблюдением Европейской конвенции по защите экспериментальных животных и «Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных», утвержденных на заседании этической комиссии по биомедицинской этике ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий» (протокол № 2 от 13.02.2024).

Крысы были разделены на 4 группы по 8 особей в каждой. 1-я группа – интактные животные. Особи этой группы проходили хэндлинг без последующих воздействий. Остальные животные (группы 2-4) получали соответствующее воздействие ежедневно в течение 7 дней. Крысы 2-й группы подвергались гиповентиляционному воздействию (60 мин), особи 3-й группы получали физическую нагрузку (плавание в воде при $t = +20-22$ °C, 1 мин.), животные 4-й группы – физическую нагрузку непосредственно после гиповентиляционного воздействия. Крысы 2-й и 3-й групп являлись «активным контролем» для животных 4-й группы. Гиповентиляцию и ежедневную физическую нагрузку осуществляли по методике, описанной в наших предыдущих работах [6, 9].

По завершению работы животных взвешивали, затем выводили из эксперимента путем декапитации под легким эфирным наркозом. Уровень глюкозы (ммоль/л) определяли в капле цельной крови с

помощью глюкометра (*Contour TS, Bayer*) и соответствующих тест-полосок. Органы-маркёры стресса (тимус и надпочечники) взвешивали на электронных весах *Adventurer TM (OHAUS Corp.)* и рассчитывали относительную массу (мг/100 г массы тела).

Результаты опытов были проанализированы с применением пакетов программ *STATISTICA 10.0* и *MS Excel 2010*. По критерию Шапиро-Уилка полученные групповые данные не подчинялись закону нормального распределения. В связи с этим, при анализе данных использовали непараметрические критерии Краскелла-Уоллиса и Манна-Уитни. Числовые данные в таблицах представлены как *медиана (Me)*, а также верхний и нижний квартили (25 % – Q_1 и 75 % – Q_3). Минимальный принятый уровень значимости межгрупповых отличий – 5 %.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе работы проанализировали состояние органов-маркеров стресса у крыс в разных экспериментальных условиях (табл. 1). Выявлено, что относительная масса тимуса у крыс, подвергнутых гиповентиляционным воздействиям, была на 63 % больше по сравнению с данным показателем у интактных особей ($p < 0,05$). При сочетанном влиянии гиповентиляции и физической нагрузки этот показатель не отличался от такового у интактных особей, но был меньше, чем у животных с изолированным гиповентиляционным воздействием (на 26 %, $p < 0,01$).

Изолированное предъявление гиповентиляционных воздействий или физических нагрузок практически не оказывало влияния на относительную массу надпочечников крыс. Напротив, сочетанное воздействие обоих факторов в течение 7 дней у крыс приводило к статистически значимому снижению исследуемого показателя по сравнению со значением у интактных крыс (на 24 %, $p < 0,01$).

Таблица 1

Относительная масса органов-маркеров стресса у крыс разных экспериментальных групп (мг/100 г массы тела; $Me (Q_1; Q_3)$)

Группа	Экспериментальные условия	Тимус	Надпочечники
1	Интактные крысы	52,62 (46,07; 64,61)	8,57 (7,94; 9,83)
2	Гиповентиляционное воздействие	85,88 (81,96; 91,24) *	7,33 (5,89; 11,32)
3	Физическая нагрузка	56,87 (52,26; 64,97)	7,84 (6,92; 9,39)
4	Гиповентиляционное воздействие → физическая нагрузка	63,46 (55,44; 68,33) ++	6,47 (5,10; 7,04) **

Примечание: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ по сравнению с интактными крысами; ++ $p < 0,05$ по сравнению с гиповентиляционным воздействием.

Таким образом, регулярные гиповентиляционные воздействия у крыс приводят к увеличению относительной массы тимуса, но не влияют на массу надпочечников. С другой стороны, регулярные физические нагрузки не оказывают влияния на относительную массу изученных органов. Ежедневные гиповентиляционные воздействия с последующей физической нагрузкой в течение 7 дней сопровождается снижением относительной массы надпочечников, не оказывая выраженного влияния на массу тимуса.

Полученные данные дополняют имеющиеся научные факты. В частности, в работе О.А. Солодкова и соавт. [13] установлено, что ежедневное погружение крыс в холодную воду ($6 \pm 1^\circ C$) на 1 ч в течение 12 дней приводит к исчезновению липидных капель в клубочковой и сетчатой зонах коры надпочечников. По мнению этих авторов, выявленные изменения свидетельствует об угнетении функциональной активности надпочечников, а также служат начальными признаками перехода стадии резистентности в стадию истощения.

Обнаруженное в наших опытах снижение относительной массы надпочечников у крыс после физических нагрузок на фоне гиповентиляционных воздействий согласуются и с другими данными в этой области. Например, в экспериментах О.Ю. Костровой и соавт. [8] показано, что в отдаленный период после многократного водно-иммерсионного стресса (1 ч ежедневно на протяжении 10 дней) у крыс наблюдается двукратное уменьшение массы надпочечников. Выявленные изменения авторы связывают со снижением уровня биогенных аминов (серотонина, катехоламинов и особенно гистамина) во всех зонах надпочечников; в указанных условиях обнаружено увеличение соотношения содержания серотонина и гистамина к катехоламинам. На основании полученных данных высказано предположение о подавлении функциональной активности клеток надпочечников. Возможно, обнаруженное нами уменьшение относи-

тельной массы надпочечников крыс после сочетанного предъявления гиповентиляционных и физических нагрузок обусловлено обеднением коры надпочечников секреторными гранулами, ее истончением и потерей липидов, являющихся источником стероидных гормонов [14].

На следующем этапе работы нами было проанализировано содержание глюкозы в крови животных разных групп (табл. 2). Выявлено, что уровень глюкозы в крови крыс при всех видах используемых в исследовании воздействий возрастал по сравнению с таковым у интактных особей: после гиповентиляционных воздействий – на 42 % ($p < 0,05$), после физических нагрузок – на 33 % ($p < 0,001$), после сочетанного предъявления гиповентиляции и физических нагрузок – на 27 % ($p < 0,001$).

Таблица 2

Концентрация глюкозы в крови крыс разных экспериментальных групп (ммоль/л; $Me (Q1;Q3)$)

Группа	Экспериментальные условия	Концентрация глюкозы
1	Интактные крысы	3,30 (3,15;3,55)
2	Гиповентиляционное воздействие	4,7 (4,15; 5,4) *
3	Физическая нагрузка	4,4 (3,9; 4,95) ***
4	Гиповентиляционное воздействие → физическая нагрузка	4,2 (4,00; 4,40) ***

Примечание: * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$ по сравнению с интактными крысами

Представленные результаты дополняют ранее опубликованные данные, полученные на других экспериментальных моделях. По мнению *Z.P. Chen* (2003), ежедневные умеренные физические нагрузки увеличивают поглощение глюкозы мышцами вследствие активации сигнального пути АМФК (5'АМФ-активируемая протеинкиназа), что может приводить к снижению уровня глюкозы в крови. В другой работе установлено, что концентрация глюкозы в крови крыс на 8-е сутки ежедневного бега на тредбане не отличается от показателя у нетренированных животных [4]. Кажущиеся на первый взгляд противоречия могут быть связаны с тем, что в нашем исследовании выполнение регулярных физических тренировок у крыс не сопровождалось достижением животными максимального времени выполняемой нагрузки (работа до отказа). Именно это могло явиться причиной обнаруженного нами увеличения содержания глюкозы в крови в указанных условиях.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день найдены убедительные доказательства специфического влияния стрессовых нагрузок разного характера, интенсивности и продолжительности на метаболизм углеводов. Например, на модели избегания у мышей было обнаружено, что острый стресс сопровождается увеличением содержания глюкозы в крови [24]. В исследованиях *L.E. Egede* [23] была обнаружена зависимость между стрессорным воздействием и стойким увеличением концентрации глюкозы в крови, и тем самым способствовала развитию метаболических нарушений. С другой стороны, на модели иммобилизации у крыс с одновременным электрокожным раздражением подпороговой силы выявлено уменьшение концентрации глюкозы в крови, что соответствует представлением о волнообразных колебаниях уровня инсулина и глюкозы в крови после отрицательного эмоциогенного воздействия [5]. Как известно, на стадии тревоги в условиях стресса происходит выброс большого количества катехоламинов в кровь. Это активирует процессы гликогенолиза в печени, что приводит к повышению уровня глюкозы в крови. Однако в дальнейшем, в результате инсулинотропного действия АКТГ и активации глюкорцепторов β -клеток островков Лангерганса синтез инсулина увеличивается, что способствует исчезновению диабетоподобных эффектов острого стресса [5]. В дополнение к сказанному нужно подчеркнуть, что при ежедневном 1-ч иммобилизационном стрессе у крыс наблюдается снижение скорости всасывания глюкозы в тощей кишке, наиболее выраженное на 7-й день наблюдений [7].

Обнаруженное в нашем исследовании повышение уровня глюкозы в крови крыс после ежедневных физических нагрузок на протяжении 1 недели может быть следствием как снижения всасывания глюкозы в кишечнике, так и подавлением синтеза инсулина вследствие дисфункции соответствующих рецепторов поджелудочной железы [5]. Кроме того, выявленные изменения могут быть также обусловлены уменьшением транспорта глюкозы, нарушением её усвоения клетками и усилением высвобождения глюкозы из депо [7].

Таким образом, выявленные нами изменения относительной массы органов-маркеров стресса и концентрации глюкозы в крови крыс могут быть обусловлены процессами декомпенсации, связанными с истощением гуморального звена регуляции физиологических функций при стрессорных нагрузках.

Литература

1. Абрамова А.Ю., Коплик Е.В., Алексеева И.В., Перцов С.С. Уровень глюкозы в крови крыс с разной поведенческой активностью в динамике многократных стрессорных воздействий // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2019. Т. 27, № 1. С. 10-19.
2. Абрамова А.Ю., Перцов А.С., Коплик Е.В., Перцов С.С. Влияние экспериментального хронического стресса на состояние углеводного обмена у крыс с разными характеристиками поведения // Бюлл. exper. биол. и мед. 2018. № 1 (9). С. 21-25.
3. Вагин Ю.Е., Фудин Н.А., Классина С.Я. Процессы, определяющие увеличение работоспособности спортсменов после гиповентиляционного дыхания // Вестник новых медицинских технологий. 2022. №2. С. 53–56. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-2-53-56. EDN RSFJAB
4. Иванов Д.Г., Александровская Н.В., Афонькина Е.А., Ерошкин П.В., Семенов А.Н., Бусыгин Д.В. Адаптационные изменения у крыс при ежедневном выполнении физической нагрузки в методике «Бег на тредбане» // Биомедицина. 2017. № 2. С. 4-22.
5. Калининченко Л.С., Коплик Е.В., Перцов С.С. Сравнительный анализ действия про и противовоспалительных цитокинов на содержание глюкозы в крови крыс с разной прогностической устойчивостью к эмоциональному стрессу // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2011. № 1 (44). С. 29-32.
6. 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.
7. Корытов Л.И., Гребёнкина Л.А., Сусликова М.И. Один из возможных механизмов торможения скорости всасывания глюкозы при иммобилизационном стрессе // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2016. Т. 1. № 3-2(109). С. 112-115.
8. Кострова О.Ю., Котёлкина А.А., Меркулова Л.М., Стоменская И.С., Стручко Г.Ю., Тимофеева Н.Ю., Бубнова Н.В. Изменение содержания биогенных аминов и их соотношения в надпочечниках и тимусе при водноиммобилизационном стрессе // Acta Medica Eurasica. 2019. № 3. С. 53-60.
9. 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.
10. Перцов С.С., Алексеева И.В., Абрамова А.Ю., Никенина Е.В., Козлов А.Ю., Коплик Е.В., Мартюшева А.С. Динамика метаболических показателей у крыс на разных стадиях постстрессорного периода в условиях антигенного воздействия при введении липополисахарида // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2021. Т. 107. №3. С. 321-331.
11. Ревякин А.О., Алимкина О.В., Каркищенко Н.Н., Каркищенко В.Н., Капанадзе Г.Д., Киселев А.Г., Казакова Л.Х., Степанова О.И., Касинская Н.В., Деньгина С.Е., Люблинский С.Л., Колышев И.Ю., Берзин И.А. Влияние рецептуры «Мио Актив-Спорт» на биохимические и гематологические показатели лабораторных крыс. // Биомедицина 2012. № 4. С. 59-66.
12. Скуратова Н. А. Эксперимент с плавательной пробой: показатели кардиоинтервалографии крыс в модели ежедневных физических нагрузок // Проблемы здоровья и экологии. 2014. №2 (40). С. 76-81.
13. Солодкова О.А., Зенкина В.Г., Каредина В.С. Влияние экстракта кукумарии японской на структуру надпочечников белых крыс при холодовом стрессе // Фундаментальные исследования. 2012. № 8-2. С. 419-423.
14. Стресс и патология / под ред. Г.В. Порядина. – М.: РГМУ, 2009, 23с.
15. Судаков К.В. Избранные труды. Том 3. Эмоции и эмоциональный стресс. М.: НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН, 2012, 534 с.
16. Тюленев С.Н., Моторин Л.В. Стресс как механизм адаптации к физическим нагрузкам // Аллея науки. 2018. Т. 5, № 9 (25). С. 663-666.
17. Ушакова В.М., Горлова А.В., Зубков Е.А., Морозова А.Ю., Зоркина Я.А., Павлов Д.А., Иноземцев А.Н., Чехонин В.П. Экспериментальные модели депрессивного состояния // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2019. Т. 69. № 2. С. 230-247.
18. Хадарцев А.А., Фудин Н.А. Психоэмоциональный стресс в спорте. Физиологические основы и возможности коррекции (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №3. Публикация 8-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5256.pdf> (дата обращения 30.09.2015). DOI: 10.12737/13378.
19. Ханферьян Р.А. Специализированные спортивные и тонизирующие напитки: фармакология основных компонентов и безопасность // Спортивная медицина: наука и практика. 2016. Т. 6. № 4. С. 61-66.

20. Чемов В.В., Гриценко С.Л. Методика повышения выносливости на основе интегрированного использования физических нагрузок и произвольной гиповентиляции в тренировке бегунов на средние дистанции // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2012. № 9 (91). С. 164-169.

21. Chen Z.P., Stephens T.J., Murthy S., Canny B.J., Hargreaves M., Witters L.A., Kemp B.E., McConell G.K. Effect of exercise intensity on skeletal muscle AMPK signaling in humans // Diabetes. 2003. Vol. 52 P. 2205-2212.

22. Coyle E.F., Coggan A.R., Hemmert M.K., Ivy J.L. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate // J. Appl. Physiol. 1986. Vol. 61. P. 165-172.

23. Egede L.E., Dismuke C.E. Serious psychological distress and diabetes: a review of the literature // Curr. Psychiatry Rep. 2012. Vol. 14, N 1. P. 15-22. doi: 10.1007/s11920-011-0240-0.

24. Li L., Li X., Zhou W., Messina J.L. Acute psychological stress results in the rapid development of insulin resistance // J Endocrinol. 2013. Vol. 217, N 2. P. 175-84. doi: 10.1530/JOE-12-0559

25. Selye H. The general adaptation syndrome and diseases of adaptation // J. Clin. Endocr. 1946. Vol. 6. P. 117-230.

References

1. Abramova AYu, Koplík EV, Alekseeva IV, Percov SS. Uroven' glyukozy v krovi krysa s raznoy povedencheskoj aktivnost'yu v dinamike mnogokratnyh stressornykh vozdeystvij [Blood glucose levels in rats with different behavioral activity in the dynamics of multiple stressors]. Rossijskij mediko-biologičeskij vestnik imeni akademika I.P. Pavlova. 2019;27(1):10-19. Russian.

2. Abramova AYu, Percov AS, Koplík EV, Percov SS. Vliyanie eksperimental'nogo hroničeskogo stressa na sostoyanie uglevodnogo obmena u krysa s raznymi harakteristikami povedeniya [The influence of experimental chronic stress on the state of carbohydrate metabolism in rats with different behavior characteristics]. Byull. eksper. biol. i med. 2018;1 (9):21-25. Russian.

3. Vagin YuE, Fudin NA, Klassina SYa. Protsessy, opredelyayushchie uvelichenie rabotosposobnosti sportsmenov posle gipoventi-lyatsionnogo dykhaniya [Processes determining an increase in athletes' working capability after hypoventilation breathing] Journal of New Medical Technologies. 2022;2:53-56. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-2-53-56. EDN RSFJAB. Russian.

4. Ivanov DG, Aleksandrovskaya NV, Afon'kina EA, Eroshkin PV, Semenov AN, Busygin DV. Adaptacionnye izmeneniya u krysa pri ezhednevnom vypolnenii fizicheskoj nagruzki v metodike [Adaptive changes in rats during daily exercise using] «Beg na tredbane». Biomedicina. 2017;2:4-22. Russian.

5. Kalinichenko LS, Koplík EV, Percov SS. Sravnitel'nyj analiz dejstviya pro i protivovospalitel'nykh citokinov na sodержanie glyukozy v krovi krysa s raznoy prognostičeskoy ustojchivost'yu k emocional'nomu stress [Comparative analysis of the effect of pro and anti-inflammatory cytokines on blood glucose in rats with different prognostic resistance to emotional stress]. Zdorov'e. Medicinskaya ekologiya. Nauka. 2011;1 (44):29-32. Russian.

6. Kovaleva MA, Makarova MN, Makarov VG, Goryacheva MA. Primenenie testa "prinuditel'noe plavanie" pri provedenii dokliničeskikh issledovanij [Application of the "forced swimming" test during preclinical studies]. Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii. 2015;4:90-95. Russian.

7. Korytov LI, Grebyonkina LA, Suslikova MI. Odin iz vozmozhnykh mekhanizmov tormozheniya skorosti vsasyvaniya glyukozy pri immobilizacionnom stresse [One of the possible mechanisms of inhibition of glucose absorption rate during immobilization stress]. Byulleten' VSNC SO RAMN. 2016; 1(109):112-115. Russian.

8. Kostrova OYu, Kotyolkina AA, Merkulova LM, Stomenskaya IS, Struchko GYu, Timofeeva NYu, Bubnova NV. Izmenenie sodержaniya biogennykh aminov i ih sootnosheniya v nadpochechnikah i timuse pri vodnoimmobilizacionnom stresse [Changes in the content of biogenic amines and their ratio in the adrenal glands and thymus during water-immobilization stress]. Acta Medica Eurasica. 2019;3:53-60. Russian.

9. Nikenina EV, Alekseeva IV, Kozlov Ayu, Fudin NA, Pertsov SS, Abramova Ayu. 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.

10. Percov SS, Alekseeva IV, Abramova AYu, Nikenina EV, Kozlov AYu, Koplík EV, Martyusheva AS. Dinamika metaboličeskikh pokazatelej u krysa na raznykh stadiyah poststressornogo perioda v usloviyah antigennogo vozdeystviya pri vvedenii lipopolisaharida [Dynamics of metabolic parameters in rats at different stages of the poststress period under conditions of antigenic exposure with lipopolysaccharide administration]. Rossijskij fiziologičeskij zhurnal im. I.M. Sečenova. 2021;107:321-331. Russian.

11. Revyakin AO, Alimkina OV, Karkishchenko NN, Karkishchenko VN, Kapanadze GD, Kiselev AG, Kazakova LH, Stepanova OI, Kasinskaya NV, Den'gina SE, Lyublinskij SL, Kolyshchev IYu, Berzin IA. Vliyanie

receptury «Mio Aktiv-Sport» na biohimicheskie i gematologicheskie pokazateli laboratornyh kryss [Influence of formulation "Myo Active-Sport" on biochemical and hematological parameters of laboratory rats]. *Biomedicina* 2012;4:59-66. Russian.

12.Skuratova NA. Eksperiment s plavatel'noj proboj: pokazateli kardiointervalografii kryss v modeli ezhednevnyh fizicheskikh nagruzok [Experiment with swimming test: indicators of cardiointervalography of rats in the model of daily physical activity]. *Problemy zdorov'ya i ekologii*. 2014;2 (40):76-81. Russian.

13.Solodkova OA, Zenkina VG, Karedina VS. Vliyanie ekstrakta kukumarii yaponskoj na strukturu nadpochechnikov belyh kryss pri holodovom stresse [The effect of Japanese cucumaria extract on the structure of the adrenal glands of white rats under cold stress]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2012;8-2:419-423. Russian.

14.Stress i patologiya [Stress and pathology] / pod red. G.V. Poryadina. M.: RGMU, 2009, 23s. Russian.

15.Sudakov KV. Izbrannye trudy. Tom 3. Emocii i emocional'nyj stress [Selected works. Volume 3. Emotions and emotional stress]. M.: NII normal'noj fiziologii im. P.K. Anohina RAMN, 2012, 534 s. Russian.

16.Tyulenev S, Motorin LV. Stress kak mekhanizm adaptacii k fizicheskim nagruzkam [Stress as a mechanism of adaptation to physical exertion]. *Alleya nauki*. 2018;5(25):663-666. Russian.

17.Ushakova VM, Gorlova AV, Zubkov EA, Morozova AYU, Zorkina YaA, Pavlov DA, Inozemcev AN, Chekhonin VP. Eksperimental'nye modeli depressivnogo sostoyaniya [Experimental models of depressive state]. *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*. 2019;69:230-247. Russian.

18. Khadartsev AA, Fudin NA. Psikhooemotsional'nyy stress v sporte. Fiziologicheskie osnovy i vozmozhnosti korrektsii (obzor literatury) [Psycho-emotional stress in sport. Physiological basis and possibilities of correction (literature review)]. *Journal of New Medical Technologies. E-edition*. 2015[cited 2015 Sep 30];3:[about 9 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5256.pdf>. DOI: 10.12737/13378.

19.Hanfer'yan RA. Specializirovannye sportivnye i toniziruyushchie napitki: farmakologiya osnovnykh komponentov i bezopasnost' [Specialized sports and tonic drinks: pharmacology of the main components and safety]. *Sportivnaya medicina: nauka i praktika*. 2016;6:61-66. Russian.

20.Chemov VV, Gricenko SL. Metodika povysheniya vynoslivosti na osnove integrirovannogo ispol'zovaniya fizicheskikh nagruzok i proizvol'noj gipoventilyacii v trenirovke begunov na srednie distancii [A technique for increasing endurance based on the integrated use of physical exertion and voluntary hypoventilation in training middle-distance runners]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*. 2012;9 (91):164-169. Russian.

21.Chen ZP, Stephens TJ, Murthy S, Canny BJ, Hargreaves M, Witters LA, Kemp BE, McConell GK. Effect of exercise intensity on skeletal muscle AMPK signaling in humans. *Diabetes*. 2003;52:2205-2212.

22.Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J. Appl. Physiol*. 1986;61:65-172.

23.Egede LE, Dismuke CE. Serious psychological distress and diabetes: a review of the literature. *Curr. Psychiatry Rep*. 2012;14:15-22. doi: 10.1007/s11920-011-0240-0. PMID: 22002804.

24.Li L, Li X, Zhou W, Messina JL. Acute psychological stress results in the rapid development of insulin resistance. *J Endocrinol*. 2013;217:175-84. doi: 10.1530/JOE-12-0559

25.Selye H. The general adaptation syndrome and diseases of adaptation. *J. Clin. Endocr*. 1946; 6:117-230.

Библиографическая ссылка:

Алексеева И.В., Никенина Е.В., Абрамова А.Ю., Фудин Н.А., Перцов С.С. Состояние органов-маркеров стресса и уровень глюкозы в крови крыс после умеренной физической нагрузки в условиях гиповентиляции // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2025. №5. Публикация 3-1. URL: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-5/3-1.pdf> (дата обращения: 03.09.2025). DOI: 10.24412/2075-4094-2025-5-3-1. EDN WOSFYO *

Bibliographic reference:

Alekseeva IV, Nikenina EV, Abramova AYU, Fudin NA, Pertsov SS. Sostoyanie organov-markerov stressa i uroven' glyukozy v krvi kryss posle umerennoj fizicheskoy nagruzki v usloviyah gipoventilyacii [State of stress-marker organs and blood glucose levels in rats after moderate physical exercise under hypoventilation conditions]. *Journal of New Medical Technologies, e-edition*. 2025 [cited 2025 Sep 03];5 [about 7 p.]. Russian. Available from: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-5/3-1.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2025-5-3-1. EDN WOSFYO

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-5/e2025-5.pdf>

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