

ДИНАМИКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ И УРОВЕНЬ ЛАКТАТА В СЫВОРОТКЕ КРОВИ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СЕЗОНА ГОДА

© 2020 г. ^{1,3}Т. А. Замощина, ¹А. А. Гостюхина, ¹К. В. Зайцев, ¹О. Б. Жукова,
^{2,3}М. В. Светлик, ¹Н. Г. Абдулкина, ^{1,3}А. В. Проконова

¹ФГБУ «Сибирский федеральный научно-клинический центр федерального медико-биологического агентства», г. Томск; ²ГБОУ высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Томск;
³ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск

Сведения о сезонных изменениях работоспособности и анаэробного обмена у животных весьма неоднородны. Такие исследования расширяют теоретические представления об адаптивных реакциях организма на различные воздействия и в дальнейшем могут явиться основой для разработки физиотерапевтических, фармакологических и других методов повышения адаптивных возможностей организма человека в сложных условиях труда и экологической ситуации. *Цель работы* – изучение особенностей пятидневной динамики работоспособности и уровня лактата в сыворотке крови лабораторных крыс в зависимости от сезона года. *Методы*. Исследование выполняли на 80 половозрелых крысах-самцах линии Wistar массой 220–250 г в середине каждого сезона года. Оценивалась работоспособность животных до полного утомления в плавательном тесте в одно и то же время суток. *Результаты*. Установлено, что работоспособность крыс в плавательном тесте имела самые высокие показатели в летний (75,4 с) и весенний (78,0 с) периоды, а самые низкие – осенью (47,8 с). При этом самые высокие показатели содержания лактата в сыворотке крови выявлены, наоборот, осенью (79 % по отношению к контролю) и самые низкие – весной и летом (38 и 39 % по отношению к контролю). *Вывод*. Исходя из полученных результатов и современных представлений о значимости лактата в прогнозе тренированности, можно заключить, что состояние тренированности у крыс достигалось наилучшим образом весной и летом, хуже тренировались животные зимой и наихудшие результаты получены осенью. Возможно, генетически детерминированная сезонная особенность обменных процессов в скелетной мышце крыс определяет и сезонные особенности их работоспособности.

Ключевые слова: сезон года, плавательный тест, работоспособность, лактат, крысы

SEASONAL VARIATIONS IN WORKING CAPACITY AND SERUM LACTATE CONCENTRATION IN LABORATORY RATS

^{1,3}T. A. Zamoshchina, ¹A. A. Gostyukhina, ¹K. V. Zaitsev, ¹O. B. Zhukova,
^{2,3}M. V. Svetlik, ¹N. G. Abdulkina, ^{1,3}A. V. Prokopova

¹Siberian Federal Scientific and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency, Tomsk; ²Siberian State Medical University, Tomsk; ³National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

The available evidence on seasonal changes in work capacity and anaerobic metabolism is very heterogeneous. Animal studies contribute to better understanding of adaptive reactions of the body to various influences and can serve as a basis for the development of physiotherapeutic, pharmacological and other methods to increase adaptive capabilities of the human body to hard working conditions and environmental situations. *The aim* was to study the characteristics of the five-days working capacity dynamics serum lactate concentration in laboratory rats across seasons. *Methods*. Eighty male Wistar rats (220–250g) comprised the sample. Measurements were taken in the middle of each season. The working capacity of animals until complete fatigue was assessed in a swimming test at the same time of a day. *Results*. Working capacity in rats in the swimming test had the highest values in the summer (75.4 s) and in the spring (78 s), while it was the lowest in the autumn (47.8 s). The highest concentrations of lactate we, on the contrary, observed in the in the autumn. *Conclusions*. Our results suggest that the working capacity in rats is the best in the spring and in the summer, worse in the winter and the worst in the autumn. One may speculate that the genetically determined seasonal pattern of metabolic processes in the skeletal muscle of rats may determines seasonality in their working capacity.

Key words: year season; swimming test; working capacity; lactate; rats

Библиографическая ссылка:

Замощина Т. А., Гостюхина А. А., Зайцев К. В., Жукова О. Б., Светлик М. В., Абдулкина Н. Г., Проконова А. В. Динамика работоспособности и уровень лактата в сыворотке крови лабораторных крыс в зависимости от сезона года // Экология человека. 2020. № 10. С. 17–22.

For citing:

Zamoshchina T. A, Gostyukhina A. A., Zaitsev K. V., Zhukova O. B., Svetlik M. V., Abdulkina N. G., Prokopova A. V. Seasonal Variations in Working Capacity and Serum Lactate Concentration in Laboratory Rats. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 10, pp. 17-22.

По мнению многих авторов, физическая работоспособность — это комплексное понятие, которое можно определить как интегральную психофизическую характеристику организма, отражающую свойства скелетных мышц, вегетативное, субстратное и энергетическое обеспечение, нервную и гуморальную регуляции, а также нервно-психические свойства и мотивацию индивидуума к произведенной механической работе [11, 16].

Известно, что сезонные ритмы являются одной из форм приспособительных реакций организма к циклическим изменениям окружающей среды и присущи всем уровням биологической организации [12]. На сегодняшний день циркануальные колебания выявлены и описаны для многих показателей системы крови и иммунитета у млекопитающих и человека [7]. Однако данных о сезонных изменениях работоспособности и уровня молочной кислоты в крови нами в литературе не обнаружено.

Таким образом, целью работы являлось изучение особенностей пятидневной динамики работоспособности и уровня лактата в сыворотке крови лабораторных крыс в зависимости от сезона года. Задачи исследования: изучить работоспособность крыс в плавательном тесте до полного утомления в середине каждого сезона года и оценить по уровню лактата (молочной кислоты) в сыворотке крови крыс линии Wistar состояние анаэробных процессов в этих условиях.

Методы

Исследование выполнено в периоды осень — зима, весна — лето на 80 половозрелых крысах-самцах линии Wistar массой 220–250 г. Животных содержали в стандартных условиях вивария Филиала ТНИИКиФ СибФНКЦ ФМБА России при естественном световом режиме и на стандартном рационе со свободным доступом к пище и воде. Эксперименты проводили в весенний период (конец марта — начало апреля), летом (конец июня — начало июля), осенью (конец сентября — начало октября) и зимой (конец декабря — начало января). Все процедуры с животными выполняли в соответствии с международными правилами и нормами обращения с лабораторными животными [15]. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУН ТНИИКиФ ФМБА России (протокол № 3 от 22.03.2012 г.).

Животных произвольно разделяли на 8 групп по 10 особей: контрольные группы — крысы, не подвергавшиеся экспериментальным воздействиям в весенний, летний, осенний, зимний периоды года, и опытные группы — крысы, подвергавшиеся физической нагрузке в эти же периоды года.

В качестве модели для изучения сезонной динамики работоспособности крыс использована методика принудительного плавания до полного утомления [3] в модификации [13]. Тестирование проводили в одно и то же время суток (с 10.00 до 11.00) в течение пяти дней подряд в аквариуме прямоугольной формы с размерами 100×100×20 см с утяжеля-

ющим грузом, равным по весу 10 % от массы тела конкретной особи, при температуре воды 26–28 °С до полного утомления, критерием которого служили три безуспешные попытки всплыть на поверхность либо отказ от таких попыток с опусканием на дно, после чего животное извлекали из аквариума. Используемый в эксперименте груз 10 % от массы тела был выбран в связи с тем, что нагрузка менее 5 % считается моделью аэробной работы, а плавание с грузом более 10 % от массы тела — примером анаэробной работы.

Стандартный тест «принудительного плавания» сводится к оценке продолжительности жизни животных в условиях физической нагрузки (плавание) при низкой температуре воды (на 17–20 °С ниже средней температуры тела) [3]. При этом регистрируют время плавания до наступления летального исхода и оценивают смертность (в процентах) за период наблюдения. Для проведения данного теста на крысах используют резервуары большей емкости. Указанные параметры теста следует расценить как недостатки. Согласно описанию тест «принудительного плавания» не предназначен для поиска новых способов и средств профилактики, коррекции переутомления, дезадаптации и различных профессиональных перегрузок, а больше предназначен для интегральной оценки резистентности [3].

В конце эксперимента крыс декапитировали под CO₂ наркозом согласно с международными правилами и нормами обращения с лабораторными животными [6, 15]. Далее кровь собирали в чистую пробирку для получения сыворотки.

Концентрацию лактата в сыворотке крови у животных определяли стандартным методом [5, 6] с использованием набора реагентов «Ольвекс диагностика» (Санкт-Петербург).

Статистическую обработку полученных результатов проводили на основе пакета программ StatSoft Statistica 8.0. Результаты представлены в виде медианы (Me) и квартилей (Q₁ — 25 %; Q₃ — 75 %). Проводился анализ множественных сравнений непараметрическими тестами Фридмана и Краскала — Уолиса. Достоверность различий между группами определяли с помощью непараметрического критерия Манна — Уитни, используемого для двух независимых выборок, и критерия Вилкоксона, используемого для проверки различий между зависимыми выборками ($p < 0,05$) [5, 9]. Для оценки характера распределений между группами применяли критерий χ^2 .

Результаты

Установлено, что в весенний период года происходило статистически значимое увеличение работоспособности с третьего по четвертый день относительно аналогичного показателя в первый день предъявления плавательного теста с достижением максимума к четвертому дню тестирования (табл. 1).

Летний эксперимент показал, что работоспособность у крыс изменялась волнообразно. Наблюдали

Таблица 1

Работоспособность крыс в плавательном тесте в разные сезоны года				
День эксперимента	Продолжительность плавания, с, Ме (Q1;Q3)			
	Весна	Лето	Осень	Зима
1	70 (40; 96)	70 (39; 89)	38 (20; 60)	58 (40; 68)
2	73 (55; 100)	78 (55; 101)	46 (30; 66)	(48; 86)
3	85 (63; 110) p = 0,03	65 (44; 86)	54 (20; 110) p = 0,03	(45; 68)
4	92 (60; 132) p = 0,03	92 (42; 71) p = 0,03	53 (26; 100) p = 0,03	(53; 70)
5	70 (68; 123)	72 (58; 89)	48 (24; 100)	66 (56; 83) p = 0,04
Усредненная работоспособность за 5 дней	78,0	75,4	47,8	59,8

Примечание. p – уровень статистической значимости по отношению к первому предъявлению плавательного теста.

Таблица 2

Уровень лактата в сыворотке периферической крови лабораторных крыс в разные сезоны года

Группа животных	Содержание лактата, ммоль/л, Ме (Q1; Q3)			
	Весенний период	Летний период	Осенний период	Зимний период
Контрольная группа (n = 10)	3,24 (2,50; 3,40)	2,55 (2,12; 2,83)	1,12 (2,10; 3,50)	2,57 (2,03; 3,57)
Опытная группа (n = 10)	5,22 (4,90; 5,70)	4,20 (3,52; 6,62)	5,24 (3,37; 6,12) p = 0,003	4,55 (3,80; 7,34)
Изменения уровня лактата в % к контролю	38%	39%	79%	44%

Примечание. p – уровень статистической значимости по отношению к контрольной группе.

незначительный прирост этого показателя на вторые сутки плавания, понижение на третьи, подъём на четвёртые с достижением максимума и уменьшение работоспособности на пятые сутки. Статистически значимое повышение показателя по отношению к аналогичному в первый день отмечено только на четвёртые сутки (см. табл. 1).

Аналогичные исследования в осенний период продемонстрировали статистически значимое повышение работоспособности крыс на третьи и четвёртые сутки предъявления плавательного теста.

Динамика работоспособности крыс в зимний период в первые два дня не изменялась, на третий день показатель немного увеличился, на четвертый – незначительно повысился и только на пятый день существенно и статистически значимо увеличился по отношению к первому дню предъявления плавательного теста (см. табл. 1).

Что касается сезонных особенностей анаэробных процессов у крыс после пятидневной физической нагрузки до состояния утомления, установлено, что уровень лактата в крови у крыс в весенний период года увеличился на 38 %, в летний – на 39 %, в осенний – на 79 %, а в зимний – на 44 % по сравнению с аналогичным показателем контрольных животных, не получавших физической нагрузки (табл. 2). Изменения уровня лактата в указанных условиях носили статистически значимый характер только в осенний период.

Обсуждение результатов

Проведенные исследования свидетельствуют как о сезонных особенностях динамики работоспособности крыс на протяжении пяти последовательных дней предъявления плавательного теста, так и об общих закономерностях во всех сезонах. Вне зависимости от сезона работоспособность крыс нарастала постепенно от первого к пятому дню и в целом соответствовала первым двум фазам адаптации к физическим нагрузкам. В первые дни мы наблюдали фазу тревоги общего адаптационного синдрома, а в последующие дни начинала формироваться фаза резистентности [10, 15]. Наши эксперименты показали, что весной и летом развитие фазы резистентности начиналось с третьего дня предъявления плавательного теста, осенью – с четвертого, а зимой – с пятого, а возможно, и позднее. Кроме того, исходная работоспособность животных и совокупный показатель за пять дней также имели свои особенности. В весенний и летний сезоны работоспособность животных оказалась самой высокой, осенью – самой низкой, зимой наблюдался промежуточный результат.

Плавательный тест, как и любая физическая нагрузка, для крыс является сильным стрессором. Об этом свидетельствуют как наши более ранние исследования содержания у животных сывороточного кортикостерона [4, 8], который, как известно, является наиболее объективным показателем стресс-реакции, так и работы других авторов [3, 16]. Именно

весной в интактной группе крыс уровень гормона был самым высоким в сравнении с аналогичным показателем в другие сезоны, и предъявляемая физическая нагрузка оказывала истощающее действие на этот показатель. Мы предполагаем, что адаптация организма крыс к физическим нагрузкам в разные сезоны года развивается неодинаково, что связано с разным исходным уровнем кортикостерона, который характеризует разную степень адаптивных возможностей организма [4, 5].

Интенсивные физические нагрузки могут превышать адаптивный потенциал организма, что нередко сопровождается метаболическими нарушениями в нем и развитием утомления, снижением работоспособности [14, 20]. Считается, что именно биохимическая индивидуальность первична, а интегральные показатели функционирования организма являются её отражением [1, 2]. Известно, что в анаэробных условиях при недостаточном поступлении кислорода пируват преобразуется в лактат. Количество пирувата и лактата отражает соотношение гликолитического и окислительного путей метаболизма углеводов в организме [18]. Известно, что интенсивная мышечная работа быстро приводит к снижению содержания в скелетных мышцах креатинфосфата, гликогена, АТФ [10], что, возможно, также объясняет рост концентрации лактата в сыворотке крови у опытных животных, подвергавшихся физической нагрузке до состояния утомления.

Исходя из усредненных показателей работоспособности (см. табл. 2), можно сделать вывод о том, что работоспособность крыс и содержание лактата в их крови взаимосвязаны. Чем выше работоспособность, тем ниже уровень лактата. Так, самый низкий показатель работоспособности приходился на осенний период, при этом уровень лактата в сыворотке крови находился на самом высоком уровне по сравнению с показателями содержания молочной кислоты в контрольной группе. Самые низкие цифры исследуемого показателя в весенний и летний периоды сопровождалась самой высокой работоспособностью (см. табл. 2).

Опираясь на наши более ранние работы [4, 5] о сезонных особенностях содержания кортикостерона в сыворотке крови крыс, мы обнаружили также некоторую взаимосвязь между содержанием кортикостерона и количеством лактата в сыворотке: весной уровень гормона значительно превышал аналогичные показатели в другие сезоны года, а уровень лактата в весенний период — самый низкий. Осенью, наоборот, содержание кортикостерона у крыс в крови наименьшее, а количество лактата в осенний период превышало аналогичные показатели в другие сезоны. Следовательно, высокий уровень тренированности у крыс весной, возможно, связан с исходно высоким уровнем кортикостерона, который готовит все метаболические процессы к повышенной физической нагрузке [4]. Исходя из известных представлений о

том, что по уровню лактата в крови можно судить не только об интенсивности анаэробных процессов в органах, работающих с максимальной нагрузкой [5], но и о степени тренированности [19], можно утверждать, что более высокий уровень тренированности крыс именно в весенний период. Вполне возможно, что генетически детерминированная сезонная особенность обменных процессов [11] в скелетной мышце животных, выявляемая нами по уровню лактата, определяет и сезонные особенности работоспособности крыс, и их адаптивные возможности к физической нагрузке, что в целом является следствием длительных циклических воздействий среды, в первую очередь освещенности.

Выводы

В настоящей работе нам удалось показать, что у крыс сезонные особенности работоспособности в плавательном тесте с нагрузкой до полного утомления и сезонные особенности анаэробных процессов в условиях физической нагрузки находятся между собой в реципрокных отношениях. Установлено, что работоспособность крыс в плавательном тесте имела самые высокие показатели в летний и весенний периоды, а самые низкие — осенью. При этом самые высокие показатели содержания лактата в сыворотке крови выявлены, наоборот, осенью и самые низкие — весной и летом. Исходя из полученных результатов и современных представлений о значимости лактата в прогнозе тренированности, можно заключить, что состояние тренированности у крыс достигалось наилучшим образом весной и летом, хуже тренировались животные зимой и наихудшими результаты были осенью. Наше исследование является экспериментальным обоснованием необходимости учитывать фактор сезонности во всех тренировочных, соревновательных и других мероприятиях, где человек подвергается экстремальным воздействиям.

Авторство

Замощина Т. А. принимала участие в анализе литературных данных в системах Scopus и РИНЦ по представленной тематике, анализе и интерпретации полученных результатов, существенной переработке статьи на предмет важного интеллектуального содержания; Гостюхина А. А. участвовала в проведении экспериментальной и аналитической части исследования, анализе и интерпретации данных, подготовке первого варианта статьи; Зайцев К. В. участвовал в разработке концепции и дизайна экспериментальной части, в редактировании статьи; Жукова О. Б. принимала участие в анализе литературных данных в системах Scopus и РИНЦ по представленной тематике, редактировании статьи; Светлик М. В. провела статистическую обработку полученных результатов; Абдулкина Н. Г. принимала участие в разработке концепции, окончательном утверждении для публикации рукописи; Прокопова А. В. принимала участие в наборе первичного материала, проведении экспериментальной части исследования, оформлении статьи по правилам журнала.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Замощина Татьяна Алексеевна — SPIN 7391-5386, ORCID 0000-0003-1868-9793
 Гостюхина Алена Анатольевна — SPIN 1036-5936, ORCID 0000-0003-3655-6505
 Зайцев Константин Васильевич — SPIN 5010-9381, ORCID 0000-0003-6504-5232
 Жукова Оксана Борисовна — SPIN 5586-3475, ORCID 0000-0001-5016-7288
 Светлик Михаил Васильевич — SPIN 1863-7282, ORCID 0000-0003-3030-2580
 Абдулкина Нина Геннадьевна — SPIN 3972-6916, ORCID 0000-0001-8965-8703
 Прокопова Алена Викторовна — SPIN 5859-3970, ORCID 0000-0001-7292-1253

Список литературы

1. Агаджанян Н. А. Исследование влияния экстремальных видов туризма и спорта на функциональное состояние кардиореспираторной системы // *Материалы XI Международного симпозиума «Эколого-физиологические проблемы адаптации»*, Москва, 27–28 января, 2003. 224 с.
2. Агаджанян Н. А. Экологическая физиология: проблема адаптации и стратегия выживания // *Материалы X Международного симпозиума «Эколого-физиологические проблемы адаптации»*, Москва, 2001. С. 5–12.
3. Волчегорский И. А., Долгушин И. И., Колесников О. Л., Цейликман В. Э. Экспериментальное моделирование и лабораторная оценка адаптивных реакций организма. Челябинск: ЧГПУ, 2000. С. 27–32.
4. Гостюхина А. А., Зайцев К. В., Замощина Т. А., Жукова О. Б., Светлик М. В., Абдулкина Н. Г. Сезонные особенности содержания кортикостерона в сыворотке крови крыс после физического переутомления в условиях светового десинхроноза // *Российский физиологический журнал имени И. М. Сеченова*. 2016. № 102 (1). С. 50–55.
5. Гостюхина А. А., Замощина Т. А., Зайцев К. В., Гуттор С. С., Жукова О. Б., Светлик М. В., Абдулкина Н. Г., Зайцев А. А. Адаптивные реакции крыс после световых десинхронозов и физического переутомления // *Бюллетень сибирской медицины*. 2018. № 17 (3). С. 22–34.
6. Долгова В. В., Меньшикова В. В. Клиническая лабораторная диагностика: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. 808 с.
7. Житенева Л. Д., Макаров Э. В., Рудницкая О. А. Эволюция крови. Ростов-на-Дону: АзНИИРХ, 2001. 114 с.
8. Зайцева М. С., Иванов Д. Г., Александровская Н. В. Работоспособность крыс в тесте «Вынужденное плавание с грузом» и причины ее вариабельности // *Биомедицина*. 2015. № 4. С. 19–23.
9. Медик В. А. Статистика в медицине и биологии. М.: Медицина, 2000. 412 с.
10. Меерсон Ф. З., Пшенникова М. Г. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина, 1988. 256 с.
11. Моссе И. Б. Генетика спорта: вчера, сегодня, завтра // *Труды Белорусского государственного университета*. 2012. Т. 7, ч. 1. С. 56–68.
12. Мьякинченко Е. Б., Селуянов В. Н. Развитие локальной мышечной выносливости в циклических видах спорта. М.: ТВТ Дивизион, 2005. С. 338.
13. Пат. 2617206 Российская Федерация, МПК G09B 23/28 (2006/01). Способ моделирования физического переутомления у крыс в условиях десинхронозов / Гостюхина А. А., Зайцев К. В., Замощина Т. А., Светлик М. В., Жукова О. Б., Абдулкина Н. Г., Зайцев А. А., Воробьев В. А.

№ 2015133700; заяв. 11.08.2015; опубли. 21.04.2017 бюл. № 12. 7 с.

14. Роженцов В. В., Полевщиков М. М. Утомление при занятиях физической культурой и спортом: проблемы, методы исследования. М.: Советский спорт, 2006. С. 280.
15. РФ ГОСТ Р-53434-2009 Принципы надлежащей лабораторной практики. М.: Стандартинформ, 2009. С. 17.
16. Селье Г. Стресс без дистресса. М.: Прогресс, 1982. 128 с.
17. Сонькин В. Д. Проблема оценки физической работоспособности // *Вестник спортивной науки*. 2010. № 3. С. 37–42.
18. Brancaccio P., Lippi G., Mffulli N. Biochemical markers of muscular damage // *Clin. Chem. Lab. Med.*, 2010. Vol. 48 (6). P. 757–767.
19. Geir S., Robstad B., Skjnsberg O. H., Borchsenius F. Respiratory gas exchange indices for estimating the threshold // *Journal of Sports Science and Medicine*, 2005. Vol. 4. P. 29–36.
20. Nicolaidis M. J., Jamurtas A. Z., Paschalis V. The effect of muscle-damaging exercise on blood and skeletal muscle oxidative stress: magnitude and time-course considerations // *Sports Med.*, 2008. Vol. 38 (7). P. 579–606.

References

1. Agadzhanian N. A. Issledovanie vliyaniya ekstremal'nykh vidov turizma i sporta na funktsional'noe sostoyanie kardiorespiratornoi sistemy [Investigation of the influence of extreme types of tourism and sports on the functional state of the cardiorespiratory system]. In: *Materialy XI Mezhdunarodnogo simpoziuma «Ekologo-fiziologicheskie problemy adaptatsii»*, Moskva, 27-28 yanvarya, 2003 [Materials of the XI International Symposium “Ecological and physiological problems of adaptation”, Moscow, January 27-28, 2003]. Moscow, 2003, 224 p.
2. Agadzhanian N. A. Ekologicheskaya fiziologiya: problema adaptatsii i strategiya vyzhivaniya [Ecological physiology: the problem of adaptation and survival strategy]. *Materialy X Mezhdunarodnogo simpoziuma «Ekologo-fiziologicheskie problemy adaptatsii»*, Moskva, 2001 [Materials of the X International Symposium “Ecological and physiological problems of adaptation”, Moscow, 2001]. Moscow, 2001, pp. 5-12.
3. Volchegorskii I. A., Dolgushin I. I., Kolesnikov O. L., Tseilikman V. E. *Ekspierimental'noe modelirovanie i laboratornaya otsenka adaptivnykh reaktzii organizma* [Experimental modeling and laboratory assessment of adaptive body reactions]. Chelyabinsk, 2000, pp. 27-32.
4. Gostyukhina A. A., Zaitsev K. V., Zamoshchina T. A., Zhukova O. B., Svetlik M. V., Abdulkina N. G. Seasonal features of corticosterone blood serum of rats after physical overwork under desynchronization. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I. M. Sechenova / Rossiiskaia akademiia nauk*. 2016, 102 (1), pp. 50-55. [In Russian]
5. Gostyukhina A. A., Zamoshchina T. A., Zaitsev K. V., Gutor S. S., Zhukova O. B., Svetlik M. V., Abdulkina N. G., Zaitsev A. A. Adaptive reactions of rats after light desynchronization and physical overwork. *Byullyuten' sibirskoi meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine]. 2018, 17 (3), pp. 22-34. [In Russian]
6. Dolgova V. V., Men'shikova V. V. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika: natsional'noe rukovodstvo* [Clinical laboratory diagnostics: national guidelines]. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2012, 808 p.

7. Zhiteneva L. D., Makarov E. V., Rudnitskaya O. A. *Evolutsiya krovi* [Blood evolution]. Rostov-na-Donu, 2001, 114 p.
8. Zaitseva M. S., Ivanov D. G., Aleksandrovskaya N. V. The performance of rats in the test "Forced swimming with cargo" and the reasons for its variability. *Biomeditsina* [Biomedicine]. 2015, 4, pp. 19-23. [In Russian]
9. Medik V. A. *Statistics in medicine and biology*. Moscow, Medicine Publ., 2000, 412 p. [In Russian]
10. Meerson F. Z., Pshennikova M. G. *Adaptatsiya k stressornym situatsiyam i fizicheskim nagruzkam* [Adaptation to stressful situations and physical activity]. Moscow, Medicine Publ., 1988, 256 p.
11. Mosse I. B. Sports genetics: yesterday, today, tomorrow. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta* [Transactions of Belarusian State University]. 2012, 7 (1), pp. 56-68. [In Russian]
12. Myakinchenko E. B., Seluyanov V. N. *Razvitie lokal'noi myshechnoi vynoslivosti v tsiklicheskih vidakh sportav* [Development of local muscle endurance in cyclic sports]. Moscow, TVT Divizion Publ., 2005, 338 p.
13. Patent RF 2617206, IPC G09B 23/28 (2006/01). A method for modeling physical fatigue in rats under desynchronosis conditions. Gostyukhina A. A., Zaitsev K. V., Zamoshchina T. A., Svetlik M. V., Zhukova O. B., Abdulkina N. G., Zaitsev A. A., Vorob'ev V. A. 2006, 12, 7 p.
14. Rozhentsov V. V., Polevshchikov M. M. *Utomlenie pri zanyatiyakh fizicheskoi kul'turoi i sportom: problemy, metody issledovaniya* [Fatigue in physical education and sports: problems, research methods]. Moscow, Sovetskii sport Publ., 2006, 280 p.
15. RF GOST R-53434-2009 *Printsipy nadležashchei laboratornoi praktiki* [Principles of Good Laboratory Practice]. Moscow, Standartinform Publ., 2009, 17 p.
16. Sel'e G. *Stress bez distressa* [Stress without distress]. Moscow, Progress Publ., 1982, 128 p.
17. Con'kin V. D. The problem of assessing physical performance. *Vestnik sportivnoi nauki* [Bulletin of sports science]. 2010, 3, pp. 37-42. [In Russian]
18. Brancaccio P., Lippi G., Mifulli N. Biochemical markers of muscular damage. *Clin. Chem. Lab. Med.* 2010, 48 (6), pp. 757-767.
19. Geir S., Robstad B., Skjnsberg O. H., Borchsenius F. Respiratory gas exchange indices for estimating the threshold. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2005, 4, pp. 29-36.
20. Nicolaidis M. J., Jamurtas A. Z., Paschalis V. The effect of muscle-damaging exercise on blood and skeletal muscle oxidative stress: magnitude and time-course considerations. *Sports Med.* 2008, 38 (7), pp. 579-606.

Контактная информация:

Гостюхина Алена Анатольевна — кандидат биологических наук, научный сотрудник экспериментальной лаборатории биомедицинских технологий ФГБУ «Сибирский федеральный научно-клинический центр федерального медико-биологического агентства»

Адрес: 634009, г. Томск, ул. Розы Люксембург, д. 1
E-mail: exper@med.tomsk.ru