



РЕАКЦИЯ ТУЧНЫХ КЛЕТОК РАЗЛИЧНЫХ ЗОН ПЕЧЕНИ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

¹Альпидовская О.В., ²Малышев И.И., ¹Романова Л.П.

¹Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия;

²Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия, e-mail: olavorobeva@mail.ru

Резюме

Актуальность. Тканевые клетки миелоидного ряда занимают уникальное звено среди клеток иммунного ответа и образуют кооперационные связи с нервной, эндокринной и иммунной системами. Печень, являясь центральным органом метаболизма, активно вовлекается в адаптационные процессы при физических нагрузках, однако роль тучных клеток в этих процессах остаётся недостаточно изученной.

Цель исследования: оценить реакцию тучных клеток различных зон печени и уровень IL-6, ФНО-α в плазме крови в условиях моделирования физической нагрузки разной степени интенсивности.

Материалы и методы. Эксперименты проведены на самцах крыс (n=32, масса 240 г), разделённых на четыре группы: контрольная (n=8), лёгкая физическая нагрузка (n=8), средняя физическая нагрузка (n=8) и тяжёлая физическая нагрузка (n=8). Физическую нагрузку моделировали методом принудительного плавания в ванне с водой температурой 29–32°C длительностью 15, 30 и до утомления (55–59 минут) соответственно. Всего выполнено 10 сеансов нагрузки. Образцы печени фиксировали в 10% нейтральном формалине, изготавливали парафиновые срезы, окрашивали гематоксилином и эозином, а также толуидиновым синим для выявления тучных клеток. Определяли плотность распределения тучных клеток, индекс дегрануляции тучных клеток (ИДТК), площадь клеток. В плазме крови методом ИФА определяли уровень ФНО-α и IL-6.

Результаты. При лёгкой физической нагрузке статистически значимых изменений параметров тучных клеток и уровня цитокинов не отмечалось. При средней физической нагрузке число тучных клеток возросло в 1,6 раза, плотность распределения компактных форм снизилась в 1,1 раза, ИДТК увеличился в 1,4 раза. При тяжёлой физической нагрузке число тучных клеток возросло в 2,8 раза, доля компактных форм уменьшилась в 1,2 раза, ИДТК увеличился в 1,9 раза, площадь клеток увеличилась в 1,6 раза (p<0,05). В плазме крови при тяжёлой нагрузке уровень ФНО-α повысился в 4,4 раза, IL-6 – в 2,6 раза (p<0,001). Гистологически выявлялись дистрофические изменения гепатоцитов и воспалительные клеточные инфильтраты. Выявлены сильные корреляционные связи между ФНО-α, IL-6 и ИДТК (r=0,9, p<0,05), а также между ФНО-α, IL-6 и уровнем тучных клеток (r=0,8, p<0,05).

Заключение. Тучные клетки печени участвуют в развитии воспалительной реакции при интенсивных физических нагрузках, что проявляется увеличением их количества, активацией дегрануляции и коррелирует с повышением уровня провоспалительных цитокинов в крови.

Ключевые слова физическая нагрузка, тучные клетки, печень, цитокины.

Для цитирования Альпидовская О.В., Малышев И.И., Романова Л.П. Реакция тучных клеток различных зон печени в условиях моделирования физической нагрузки. *Морфологические ведомости.* 2025;33(4):930. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025.33\(4\).930](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025.33(4).930)

Статья поступила в редакцию 02 февраля 2025

Статья принята к публикации 26 января 2026

RESPONSE OF MAST CELLS IN DIFFERENT LIVER ZONES UNDER CONDITIONS OF SIMULATED PHYSICAL EXERCISE

¹Al'pidovskaya OV, ²Malyshev II, ¹Romanova LP

¹I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia; ²Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia,
e-mail: olavorobeva@mail.ru

Summary

Background. Tissue myeloid cells occupy a unique position among immune response cells and form cooperative connections with the nervous, endocrine, and immune systems. The liver, being a central metabolic organ, is actively involved in adaptive processes during physical exercise; however, the role of mast cells in these processes remains insufficiently studied.

Aim. To evaluate the response of mast cells in different liver zones and the levels of IL-6 and TNF- α in blood plasma under conditions of simulated physical exercise of varying intensity.

Materials and Methods. Experiments were conducted on male rats ($n=32$, body weight 240 g) divided into 4 groups: control ($n=8$), light exercise ($n=8$), moderate exercise ($n=8$), and heavy exercise ($n=8$). Physical exercise was modeled by forced swimming in a water bath at 29–32°C for 15, 30, and until exhaustion (55–59 minutes), respectively. A total of 10 exercise sessions were performed. Liver samples were fixed in 10% neutral formalin, paraffin sections were prepared and stained with hematoxylin and eosin, as well as toluidine blue to detect mast cells. The distribution density of mast cells, mast cell degranulation index (MCDI), and cell area were determined. TNF- α and IL-6 levels in blood plasma were measured by ELISA.

Results. Light exercise did not cause statistically significant changes in mast cell parameters or cytokine levels. Moderate exercise increased the number of mast cells by 1.6-fold, decreased the density of compact forms by 1.1-fold, and increased MCDI by 1.4-fold. Heavy exercise increased the number of mast cells by 2.8-fold, decreased the proportion of compact forms by 1.2-fold, increased MCDI by 1.9-fold, and increased cell area by 1.6-fold ($p<0.05$). In blood plasma after heavy exercise, TNF- α levels increased by 4.4-fold and IL-6 by 2.6-fold ($p<0.001$). Histologically, degenerative changes in hepatocytes and inflammatory cellular infiltrates were detected. Strong correlations were found between TNF- α , IL-6, and MCDI ($r=0.9$, $p<0.05$), and between TNF- α , IL-6, and mast cell levels ($r=0.8$, $p<0.05$).

Conclusion. Hepatic mast cells participate in the development of inflammatory responses during intense physical exercise, manifested by increased numbers, activation of degranulation, and correlation with elevated levels of proinflammatory cytokines in blood.

Keywords

physical exertion, mast cells, liver, cytokines

For the citation

Al'pidovskaya OV, Malyshev II, Romanova LP. Response of mast cells in different liver zones under conditions of simulated physical exercise. *Morfologicheskie Vedomosti – Morphological newsletter*. 2025;33(4):930. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025.33\(4\).930](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025.33(4).930)

Article received 02 February 2025

Article accepted 26 January 2026

ВВЕДЕНИЕ

Физическая активность является одним из ключевых аспектов здорового образа жизни [1–3]. Однако чрезмерное физическое перенапряжение может увеличивать риск развития патологических состояний, включая случаи внезапной сердечной смерти у лиц, занимающихся высокоинтенсивными тренировками, и профессиональных спортсменов. Неблагоприятный исход возможен как при нарушении режима выполнения физической нагрузки, так и при наличии субклинически протекающих патологических процессов.

Печень, являясь центральным органом метаболизма, активно участвует в адаптации организма к физическим нагрузкам, обеспечивая энергетический гомеостаз, детоксикацию и регуляцию иммунных реакций. Паренхима печени представляет собой сложную структуру с различными типами клеток, к которым относятся: клетки Купфера, звёздчатые клетки печени, синусоидальные и сосудистые эндотелиальные клетки, фибробласты. Все эти клетки играют роль в патофизиологии печени и определяют сложные взаимодействия с тканевыми клетками

миелоидного ряда, в частности, с тучными клетками (ТК).

ТК занимают уникальное звено среди клеток иммунного ответа и образуют кооперационные связи с нервной, эндокринной и иммунной системами. Они способны быстро высвободить биологически активные вещества из своих гранул, инициируя как немедленные, так и отсроченные воспалительные реакции. Однако роль ТК печени в развитии адаптационных и патологических процессов при физических нагрузках различной интенсивности остаётся недостаточно изученной.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – оценить реакцию тучных клеток различных зон печени и уровень IL-6, ФНО- α в плазме крови в условиях моделирования физической нагрузки разной степени интенсивности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты основывались на принципах гуманности, изложенных в Директиве Совета Европейского Союза (86/609/ЕЭС), а также в ГОСТ Р 53434-2009 от 1 марта 2010 г. «Принципы надлежащей лабораторной практики» (идентичен GLP OECD). Проведение эксперимента одобрено этическим комитетом Марийского государственного университета (протокол №1 от 28.04.2023 г.).

Манипуляции с лабораторными крысами проводили в соответствии с Хельсинкской декларацией (2000), правилами проведения качественных клинических испытаний в Российской Федерации (утверждены МЗ РФ 29.12.98), ГОСТ №33216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными», ГОСТ 33044-2014 «Принципы надлежащей лабораторной практики».

Экспериментальные животные и дизайн исследования

Эксперименты проведены на самцах крыс линии Wistar массой 240 г (n=32), разделённых на 4 группы по 8 животных в каждой:

- **Контрольная группа** (n=8) – животные содержались в стандартных условиях вивария без физической нагрузки;

- **Группа лёгкой физической нагрузки** (n=8);

- **Группа средней физической нагрузки** (n=8);

- **Группа тяжёлой физической нагрузки** (n=8).

Опытные животные содержались в одинаковых условиях и получали корм и воду в свободном доступе.

Моделирование физической нагрузки

Физическую нагрузку воспроизводили методом принудительного плавания в ванне с водой температурой 29–32°C [4]. Животные первой опытной группы плавали 15 минут (лёгкая физическая нагрузка). Крысы второй опытной группы находились в ванне 30 минут; эту нагрузку расценивали как среднюю. Для воспроизведения тяжёлой физической нагрузки (третья опытная группа) животные плавали до момента выраженного утомления, который определяли по потере координации движений и началу погружения в воду. Обычно это наступало через 55–59 минут после начала нагрузки. После извлечения из ванны животные были вялыми, некоторое время лежали неподвижно, не принимали пищу. Животными всех групп было выполнено 10 сеансов водной нагрузки, после чего их выводили из эксперимента путём декапитации на гильотине сразу после последнего сеанса.

Гистологические исследования

Для гистологических исследований образцы тканей печени фиксировали в 10% нейтральном формалине (ООО «БиоВитрум», Санкт-Петербург). Обезжировали и заливали в гомогенизованную парафиновую среду для заливки BioPlast («BioOptica», Италия). Парафиновые срезы толщиной 6 мкм окрашивали гематоксилином и эозином. Тучные клетки выявляли окраской толуидиновым синим («BioVитрум», Россия).

Микроскопическое исследование проводилось на микроскопе Leica DM 2500 (Leica, Germany) с видеокамерой Leica DFC420. Анализ изображений выполняли в программе Leica Application Suite (V4) (Leica, Germany). Плотность распределения ТК подсчитывали в программе ImageTool 3. Вычисляли индекс дегрануляции ТК (ИДТК) как процент клеток в состоянии дегрануляции от общего числа ТК.

Определение цитокинов

Уровень IL-6 и ФНО- α в плазме крови опытных животных определяли методом иммуноферментного анализа с помощью прибора Lazerite Automated Elisa System (Dynex Technologies Inc., США) согласно инструкции производителя.

Статистическая обработка

Описательная статистическая обработка проводилась в программе Statistica 10 (США). Для проверки равенства медиан нескольких выборок рассчитывался критерий Краскела–Уоллиса. Данные по каждой группе животных усредняли и вычисляли стандартную ошибку среднего ($M \pm m$). Применялся корреляционный анализ (коэффициент ранговой корреляции Спирмена). Результаты считались достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Морфологическая характеристика тучных клеток при различной физической нагрузке

При лёгкой физической нагрузке ТК не изменяли своей формы, были округлой конфигурации, с гранулами, которые плотно располагались в цитоплазме клеток. ТК встречались в портальной зоне и вдоль сосудов. Преобладали компактные формы ТК, клетки с признаками дегрануляции были незначительны. Плотность распределения ТК и ИДТК статистически значимо не изменились в сравнении с контрольной группой (табл. 1).

При средней физической нагрузке ТК формировали скопления, локализовались в портальных трактах, около сосудов. В ряде полей зрения встречались ТК в виде прерывистой цепочки, чаще вдоль сосудов (рис. 1). Изменялась форма клеток: помимо округлых ТК встречались клетки вытянутой конфигурации. Возрастало число ТК в 1,6 раза с одновременным снижением доли компактных форм в 1,1 раза и увеличением ИДТК в 1,4 раза. Незначительно увеличилась площадь ТК (табл. 1).

При тяжёлой физической нагрузке ТК отличались выраженным полиморфизмом: встречались как крупные, так и более мелкие клетки, различалась их форма от округлой до вытянутой, встречались дегранулированные формы ТК. ТК располагались вдоль сосудов (рис. 1), около дистрофически изменённых гепатоцитов и около зон некрозов. ТК были как одиночными, так и встречались группами по несколько клеток.

Распределение ТК статистически значимо изменялось: возросло число ТК в 2,8 раза, уменьшился процент компактных форм ТК в 1,2 раза, увеличился ИДТК в 1,9 раза и площадь клеток в 1,6 раза в сравнении с контрольными животными (табл. 1). Гистологически выявлялись дистрофические изменения гепатоцитов и воспалительные клеточные инфильтраты в ткани печени.

Таблица 1. Сравнительные данные ТК при моделировании физической нагрузки разной степени ($M \pm m$)

Группы	Распределение тучных клеток			
	Число ТК	Компактные ТК (%)	ИДТК	Площадь ТК (мкм^2)
ИГ	8,2 \pm 1,8	82,7 \pm 0,8	17,3 \pm 0,4	35,1 \pm 4,9
ЛФА	8,3 \pm 2,3	82,9 \pm 1,1	17,1 \pm 0,9	35,3 \pm 5,3
СФА	13,6 \pm 1,9	75,7 \pm 0,9	24,3 \pm 2,3	40,6 \pm 5,8
ТФА	22,7 \pm 0,8*	66,8 \pm 1,7*	33,2 \pm 0,3*	56,2 \pm 6,9

Примечание: ЛФА – легкая физическая активность; СФА – средняя физическая активность; ТФА – тяжелая физическая активность; * – уровень статистической значимости различий.

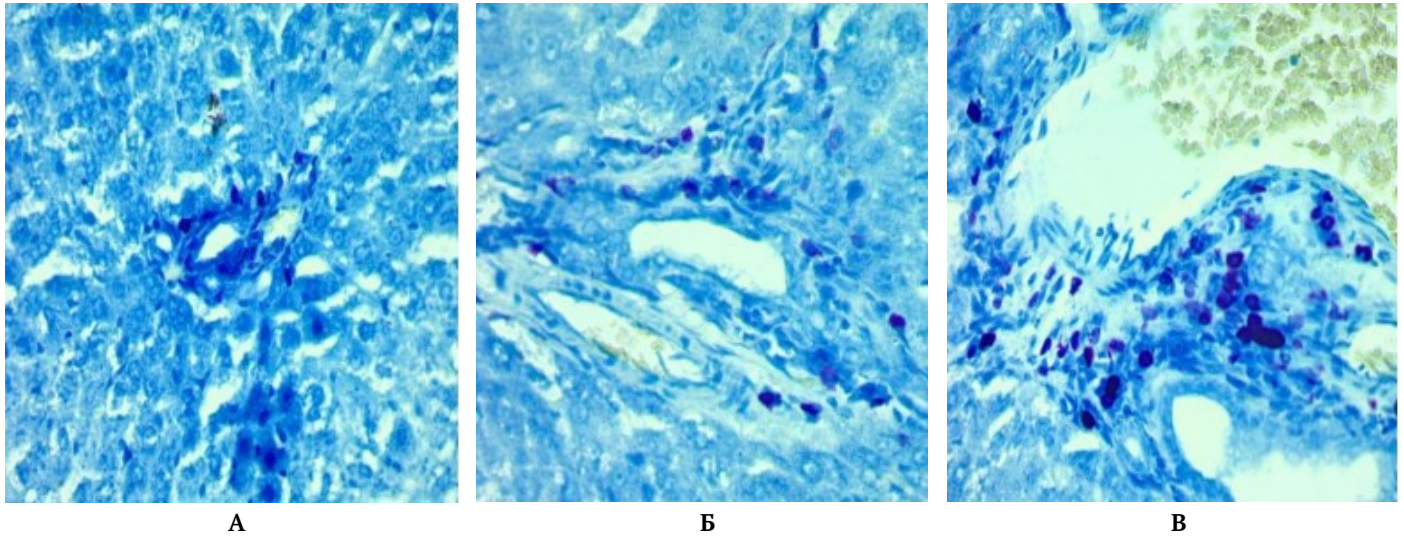


Рис. 1. Распределение тучных клеток в печени при средней (А) и тяжёлой (Б) физической нагрузке. Окраска толуидиновым синим. Ув. ×400

Цитокиновый профиль при различной физической нагрузке

Уровень провоспалительных цитокинов при лёгкой физической нагрузке статистически значимо не изменился (табл. 2). При средней физической активности незначительно увеличились ФНО- α и ИЛ-6. При выполнении животными тяжёлой нагрузки произошло статистически значимое повышение показателя ФНО- α в 4,4 раза и ИЛ-6 в 2,6 раза ($p < 0,001$) в сравнении с контрольными животными.

Таблица 2. Цитокиновый профиль в плазме крови опытных животных

Опытные животные	ФНО- α , пг/мл	ИЛ-6, пг/мл
Интактная группа	4,2±0,7	38,07±6,7
Легкая физическая активность	4,3±0,5	38,3±5,3
Средняя физическая активность	8,4±3,2	48,9±7,6
Тяжелая физическая активность	18,6±3,8* p=0,001	97,3±5,1* p=0,001

Примечание: * – уровень статистической значимости различий тяжелой физической нагрузки с интактными животными. Примечание: * – уровень статистической значимости различий с контрольной группой ($p < 0,001$).

При изучении корреляционных взаимодействий при тяжёлой физической нагрузке выявлены сильные корреляционные связи между ФНО- α , ИЛ-6 и ИДТК ($r=0,9$, $p < 0,05$), а также сильная положительная связь между ФНО- α , ИЛ-6 и уровнем ТК ($r=0,8$, $p < 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

ТК являются первичной клеточной популяцией, участвующей в воспалении. За счёт быстрого высвобождения своих провоспалительных гранул ТК определяют механизмы, которые развиваются как немедленно, так и формируют поздний ответ. В экспериментальных исследованиях показано, что при токсическом повреждении печени CCl_4 плотность ТК увеличивается уже через два часа после воздействия, что свидетельствует о раннем рекрутировании ТК в повреждённые ткани, и это увеличение становится ещё более очевидным через 24 часа [6, 7]. Авторы установили, что данный феномен является важным маркером острой воспалительной реакции печени на токсическое повреждение.

В представленном исследовании выявлено возрастание количества ТК в различных зонах ткани печени при средней и, особенно, тяжёлой физической нагрузках. Механизмы увеличения числа ТК могут включать как их миграцию из

других органов и тканей, так и пролиферацию резидентных клеток-предшественников в печени [1, 2].

Повышение ИДТК свидетельствует об активации дегрануляции ТК. Известно, что при дегрануляции ТК происходит высвобождение эйкозаноидов (лейкотриен C₄ и простагландин E₂) и цитокинов, которые стимулируют ответ Th2-клеток: IL-4, IL-13, GM-CSF, а также цитокинов, способствующих воспалительной реакции: ФНО-α и IL-6. Большинство цитокинов ТК синтезируют под влиянием внешних стимулов, и лишь IL-4, IL-13, GM-CSF выделяются постоянно [6–8].

При тяжёлой физической нагрузке происходило статистически значимое увеличение в плазме крови ФНО-α и IL-6. Иммуный ответ в этом случае обусловлен повышением уровня провоспалительных цитокинов. Помимо ТК, IL-6 синтезируется активированными моноцитами/макрофагами, фибробластами, эндотелиальными клетками. IL-6 опосредует иммунные реакции, воспаление, реакции острой фазы. ФНО-α вырабатывается клетками иммунной системы, помимо ТК – моноцитами и макрофагами [9]. ФНО-α способен взаимодействовать с другими цитокинами и стимулировать секрецию интерлейкинов (IL-1, IL-6, IL-8), интерфе-

рона γ, хемокинов, выполняя провоспалительную роль.

Выявленные сильные корреляционные связи между уровнем ТК, степенью их дегрануляции и концентрацией провоспалительных цитокинов в крови указывают на важную роль ТК в развитии системного воспалительного ответа при интенсивных физических нагрузках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реакция тучных клеток различных зон печени в условиях моделирования физической нагрузки сопровождалась изменением распределения тучных клеток, увеличением их морфофункциональной активности и повышением уровня провоспалительных цитокинов в плазме крови. При тяжёлой физической нагрузке выявлены сильные корреляционные взаимодействия между ФНО-α, IL-6 и индексом дегрануляции тучных клеток ($r=0,9$, $p<0,05$), а также между ФНО-α, IL-6 и уровнем тучных клеток ($r=0,8$, $p<0,05$).

Тучные клетки являются одним из ключевых патогенетических звеньев в развитии воспалительной реакции печени при интенсивных физических нагрузках, выступая важными факторами в сложном спектре иммунных реакций.

Литература

References

- 1 Wernersson S, Pejler G. Mast cell secretory granules: armed for battle. *Nat Rev Immunol*. 2014;14:478–494. <https://doi.org/10.1038/nri3690>
- 2 Artashyan OS, Yushkov YuS, Khrantsova YuS. Morfologicheskie aspekty uchastiya tuchnykh kletok v formirovaniy obshchego adaptatsionnogo sindroma. *Tavricheskiy mediko-biologicheskiy vestnik*. 2012;15(3):22–25. *In Russian*
- 3 Dolgatov AYU, Bobrov IP, Lepilov AV, Kryuchkova NG. Morfofunktsional'naya kharakteristika tuchnokletochnoy populyatsii pecheni belykh kryis pri glubokoy immersionnoy gipotermii (eksperimental'noe issledovanie). *Byulleten' meditsinskoj nauki*. 2018;3(11). *In Russian*
- 4 Malyshev II, Al'pidovskaya OV, Romanova LP. Morfologicheskie izmeneniya neyrotsitov u kryis pri fizicheskoy nagruzke razlichnoy intensivnosti. *Med. vestnik Severnogo Kavkaza*. 2024;19(1):49–52. <https://doi.org/10.14300/mnnc.2024.19006> *In Russian*
- 5 Malyshev II, Al'pidovskaya OV, Romanova LP. Vliyaniye fizicheskoy nagruzki razlichnoy stepeni intensivnosti na gipertrofiyu kardiomiotsitov i na poliploidiyu miokarda kryis. *Sib. zhurn. klin. i eksper. meditsiny*. 2024;39(1):178–183. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-1-178-183> *In Russian*
- 6 Grizzi F, Franceschini B, Barbieri B, Gagliano N, Arosio B, Chiriva-Internati M, Annoni G, Dioguardi N. Mast cell density: a quantitative index of acute liver inflammation. *Anal Quant Cytol Histol*. 2002;24:63–69.
- 7 Grizzi F, Di Caro G, Laghi L, et al. Mast cells and the liver aging process. *Immun Ageing*. 2013;10:9. <https://doi.org/10.1186/1742-4933-10-9>
- 8 Abbas AK, Lichtman AH, Pillai S. Cellular and Molecular Immunology. 9th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2017. 608 p.
- 9 Tereshchenko IV, Kayushev PE. Faktor nekroza opukholi α i ego rol' v patologii. *RMZh. Meditsinskoe obozrenie*. 2022;6(9):523–527. *In Russian*
- 10 Steensberg A, Fischer CP, Keller C, Møller K, Pedersen BK. IL-6 enhances plasma IL-1ra, IL-10, and cortisol in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2003;285(2):E433–E437. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00074.2003>
- 11 Pedersen BK, Febbraio MA. Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. *Physiol Rev*. 2008;88(4):1379–1406. <https://doi.org/10.1152/physrev.90100.2007>

- 12 Nikolayenko E.YA., Nekhayeva T.I., Kamilova T.A., Logvinov S.V. Morfologicheskiye osobennosti pecheni pri ostroy alkohol'noy intoksikatsii v eksperimente. *Morfologicheskiye vedomosti*. 2019;27(5):12–18. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.19\(27\).03.12-18](https://doi.org/10.20340/mv-mn.19(27).03.12-18) *In Russian*
- 13 Yushkov B.G., Klimin V.G., Severin M.V. Sistema tuchnykh kletok soyedinitel'noy tkani. Yeka-terinburg: UrO RAN. 2011: 253. *In Russian*
- 14 Krystel-Whittemore M, Dileepan KN, Wood JG. Mast cell: a multi-functional master cell. *Front Immunol*. 2016;6:620. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2015.00620>
- 15 Fehrenbach H, Brasch F, Uhlig S, et al. Early alterations in intracellular and alveolar surfactant of the rat lung in response to endotoxin. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998;157(5):1630–1639. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.157.5.9612057>
- 16 Pedersen BK. The disease of physical inactivity and the role of myokines in muscle-fat cross talk. *J Physiol*. 2009;587(23):5559–5568. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.179515>
- 17 Gleeson M, Bishop NC, Stensel DJ, Lindley MR, Mastana SS, Nimmo MA. The anti-inflammatory effects of exercise: mechanisms and implications for the prevention and treatment of disease. *Nat Rev Immunol*. 2011;11(9):607–615. <https://doi.org/10.1038/nri3041>
- 18 Muñoz-Cánoves P, Scheele C, Pedersen BK, Serrano AL. Interleukin-6 myokine signaling in skeletal muscle: a double-edged sword? *FEBS J*. 2013;280(17):4131–4148. <https://doi.org/10.1111/febs.12338>
- 19 Klimczak M, Skoczylas MM, Majchrzak K, et al. ANGPTL4, IL-6 and TNF- α as regulators of lipid metabolism during a marathon run. *Sci Rep*. 2022;12:19717. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17439-x>
- 20 Kosmidou I, Vassilakopoulos T, Xagorari A, Zakynthinos S, Papapetropoulos A, Roussos C. Production of interleukin-6 by skeletal myotubes: role of reactive oxygen species. *Am J Respir Cell Mol Biol*. 2002;26(5):587–593. <https://doi.org/10.1165/ajrcmb.26.5.4598>

Авторы заявляют об отсутствии каких-либо конфликтов интересов при планировании, выполнении, финансировании и использовании результатов настоящего исследования

The authors declare that they have no conflicts of interest in the planning, implementation, financing and use of the results of this study

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Альпидовская Ольга Васильевна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей и клинической морфологии и судебной медицины, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия;
e-mail: olavorobeva@mail.ru

Мальшев Игорь Иванович, доктор медицинских наук, профессор кафедры физиологии и патологии, Марийский государственный университет, Йошкар Ола, Россия;
e-mail: igor.malyshev.41@mail.ru

Романова Любовь Петровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры дерматовенерологии с курсом гигиены, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия;
e-mail: lyubasha_romanova_65@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ol'ga V. Al'pidovskaya, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of General and Clinical Morphology and Forensic Medicine, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia;
e-mail: olavorobeva@mail.ru

Igor' I. Malyshev, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Physiology and Pathology, Mari State University, Yoshkar Ola, Russia;
e-mail: igor.malyshev.41@mail.ru

Lyubov' P. Romanova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Dermatovenereology and Hygiene, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia;
e-mail: lyubasha_romanova_65@mail.ru