

Научная статья
УДК 612.017:796.12.6
DOI: 10.14529/hsm230403

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА СОСТОЯНИЕ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

Ю.В. Болдырева, tgma.06@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3276-7615>

Д.Г. Губин, dgubin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2028-1033>

Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия

Аннотация. Цель: установить влияние физической активности на состояние иммунной системы организма. **Материалы и методы.** Выполнен ретроспективный анализ отечественной и зарубежной научной литературы, предоставленной в электронных базах данных PubMed, Google scholar, CyberLeninka, eLibrary, посвященной влиянию физической активности на состояние иммунной системы организма. Полученные данные проанализированы, систематизированы, обобщены. **Результаты.** Установлено, что регулярная средней степени интенсивности физическая нагрузка поддерживает и улучшает функциональное состояние иммунной системы. Физическую активность стоит рассматривать как фактор, предупреждающий развитие ряда соматических заболеваний. **Заключение.** Физическая активность является биологическим стимулом, который способствует морфофункциональному развитию органов и систем организма человека.

Ключевые слова: физическая активность, физическая нагрузка, аэробные нагрузки, анаэробные нагрузки, гиподинамия, иммунная система, иммунитет

Для цитирования: Болдырева Ю.В., Губин Д.Г. Влияние физической активности на состояние иммунной системы организма // Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23, № 4. С. 23–30. DOI: 10.14529/hsm230403

Original article
DOI: 10.14529/hsm230403

THE EFFECT OF PHYSICAL ACTIVITY ON THE IMMUNE SYSTEM

Yu.V. Boldyreva, tgma.06@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3276-7615>

D.G. Gubin, dgubin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2028-1033>

Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

Abstract. Aim. To establish the effect of physical activity on the immune system. **Materials and methods:** the study provides a retrospective review of Russian and foreign scientific publications from electronic databases, namely PubMed, Google scholar, Cyberleninka, and eLibrary, about the effect of physical activity on the immune system. The results obtained were subject to analysis, systemic representation, and summary. **Results.** The study shows that regular, moderate-intensity physical activity maintains and enhances the performance of the immune system. Physical activity should be considered to prevent the development of a number of somatic diseases. **Conclusion.** Physical activity is a biological stimulus that contributes to the morphofunctional development of organs and systems in the human body.

Keywords: physical activity, exercise, aerobic exercise, anaerobic exercise, physical inactivity, immune system, immunity

For citation: Boldyreva Yu.V., Gubin D.G. The effect of physical activity on the immune system. *Human. Sport. Medicine.* 2023;23(4):23–30. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm230403

Введение. Термины «общая физическая активность» и «физические упражнения» часто употребляют как синонимы. Однако это не совсем так. Под общей физической активностью понимают любое перемещение в пространстве, продуцирующее активность скелетной мускулатуры и расход энергии, в то время как упражнения являются спланированной, структурированной и регулярно повторяющейся физической активностью [2]. Гиподинамия представляет собой ослабление мышечной деятельности, обусловленное сидячим образом жизни и ограничением двигательной активности. По данным ВОЗ принято выделять 3 основных вида источников гиподинамии: индивидуальные факторы, факторы микросреды и факторы макросреды. Особенно опасным считается комбинация всех трех групп факторов.

В настоящее время проблема гиподинамии очень актуальна. Необходимо повышать мотивацию населения к увеличению физической активности, поясняя ее влияние на функцию органов и систем организма. В связи с этим представленная работа является актуальной.

Цель: установить влияние физической активности на состояние иммунной системы организма.

Материалы и методы. Выполнен ретроспективный анализ отечественной и зарубежной научной литературы, предоставленной в электронных базах данных PubMed, Google scholar, CyberLeninka, eLibrary, посвященной влиянию физической активности на состояние иммунной системы организма. Полученные данные проанализированы, систематизированы, обобщены.

Результаты и обсуждение. Гиподинамия – болезнь современного человека. Гиподинамию еще называют оборотной стороной прогресса. Считается, что наиболее пагубны последствия гиподинамии для детей [1]. В работах по возрастной физиологии сказано, что с приходом ребенка в школу наблюдается снижение двигательной активности практически в 2 раза. При отсутствии адекватной организации режима дня, включающего физические упражнения, это приводит не только к отставанию в развитии от своих сверстников, но и к более частым заболеваниям, нарушениям осанки и опорно-двигательной функции. По данным А.Г. Сухарева, в период обучения в школе дефицит двигательной активности

приводит к ухудшению адаптации сердечно-сосудистой системы учащихся к стандартной физической нагрузке, снижению показателей жизненной емкости легких, становой силы, появлению избыточной массы тела за счет накопления жировой массы, повышению уровня холестерина в крови, снижению общей неспецифической резистентности организма.

Однако прежде чем говорить об уменьшении двигательной активности у конкретного индивида, следует установить ее наличие. С этой целью используют следующие методы:

- 1) оценка данных хронометража, выполненного за сутки работы;
- 2) оценка показателей затрат энергии (непрямая калориметрия);
- 3) подсчет энергетического баланса.

После того как доказано наличие гиподинамии, решается вопрос о повышении уровня двигательной активности. Активизация двигательного режима различными физическими упражнениями совершенствует функции систем, регулирующих кровообращение, улучшает сократительную способность миокарда и кровообращение, снижает гипоксию, т. е. предупреждает и устраняет проявления большинства факторов риска различных соматических заболеваний.

У нетренированного человека сердце изнашивается быстрее, так как оно в минуту совершает большее число сокращений, тем самым потребляя больше питательных веществ. У спортсменов число сердечных сокращений достигает 50, 40, а то и меньше при норме 60–80 уд./мин. Следовательно, изнашивается такое сердце гораздо медленнее. У тренированного организма метаболизм протекает медленнее обычного, организм работает экономичнее, тем самым это способствует увеличению продолжительности жизни и в целом тормозит процесс старения.

При выполнении физических упражнений важным фактором является выполнение комплекса релаксирующих мероприятий, который будет способствовать не только оптимизации церебрального кровообращения, но и профилактике развития артериальной гипертензии. Подобное было продемонстрировано в исследовании с участием студентов. После учебных занятий обучающимися были выполнены упражнения релаксирующего комплекса (дыхательные упражнения, мышечная релаксация), это способствовало немедикаментозной профилактике развития артериаль-

ной гипертензии, поскольку физические нагрузки обладают сильным антистрессовым действием [3]. В ответ на физическую активность в организме развиваются две стадии, которые обусловлены действием катехоламинов и основного гормона стресса – кортизола. При этом лейкоциты в первой фазе проявляют более высокую функциональную активность. Во вторую фазу эти клетки менее активны, особенно если есть контакт с патогенной микрофлорой [6, 8].

Большой интерес представляют результаты исследования, описывающие влияние острой физической нагрузки на функцию зрелых макрофагов, свидетельствующие о снижении экспрессии главного комплекса гистосовместимости и, как следствие, о снижении антигенпрезентирующей функции этой популяции клеток.

Наряду с этим о влиянии острых аэробных нагрузок на дендритные клетки практически ничего неизвестно. Есть немногочисленные работы, указывающие на численное снижение этого типа клеток при нагрузке.

Оценке воздействия острых аэробных нагрузок на NK-клетки и их цитотоксические свойства посвящено большее число научных работ. Показано, что в ответ на острые нагрузки NK-клетки массово мобилизуются, их количество в кровотоке резко возрастает, причем эта мобилизация протекает по-разному в зависимости от конкретного фенотипа клетки. Под действием острых аэробных нагрузок отмечается повышение соотношения $CD56^{bright}/CD56^{dim}$ -NK-клеток. При этом лимфоциты фенотипа $CD56^{bright}$ характеризуются пониженными цитотоксическими свойствами. С.А. Калинин и соавт., изучая физические нагрузки различного происхождения и их влияние на иммунную систему человека и животных, пришли к выводу, что острые аэробные нагрузки снижают эффективность иммунных реакций. Данная концепция основана на колебаниях цитотоксической активности NK-клеток после аэробных нагрузок. Так, после краткосрочного периода физической активности наблюдалось двукратное повышение цитотоксической активности, ассоциированное с увеличением численности NK-клеток, однако при нарастании интенсивности или продолжительности аэробной нагрузки цитотоксическая активность естественных киллеров резко снижалась. Продолжительность этого снижения оценивалась

в интервале от нескольких часов до нескольких суток. Авторы статьи заключают, что количественные изменения внутри популяции NK-клеток, вызываемые чрезмерными как по длительности, так и по интенсивности аэробными нагрузками, связаны со снижением эффективности иммунного ответа, что, в свою очередь, объясняет высокую заболеваемость респираторными инфекционными заболеваниями у профессиональных спортсменов после интенсивных физических тренировок [4].

Также в этой статье исследуется влияние аэробных нагрузок на другие популяции лейкоцитов, в частности, на нейтрофилы и моноциты. Влияние на нейтрофилы и моноциты оценивается как малое, а высокие и сверхвысокие по интенсивности нагрузки, физические упражнения, по-видимому, схожи с однократным острым действием на количественно-функциональные характеристики нейтрофилов. У лиц, регулярно проявляющих физическую активность, снижается интенсивность воспалительного ответа на липополисахариды за счет понижения количества экспрессируемого $TL4$. Вместе с этим у данных лиц снижается количество моноцитов с фенотипом $CD14^+/CD16^+$ в общей популяции моноцитов.

По мнению авторов, в научном сообществе существуют некоторые противоречия относительно вопроса влияния регулярных аэробных тренировок на NK-клетки. Так, по результатам ряда ранних работ умеренные аэробные тренировки повышают цитотоксические свойства NK-клеток, однако уже в более поздних публикациях данная позиция ставится под сомнение, и на основании результатов рандомизированных контролируемых исследований, проведенных на большой выборке пациентов, Fairley и соавт. дают противоречивый ответ на данный вопрос: цитотоксическая активность NK-клеток либо повышается (при наличии регулярных аэробных нагрузок в течение 15 недель), либо не изменяется (при тренировках в течение года) [19].

Помимо этого, активно исследуется роль интенсивных аэробных нагрузок на гуморальное звено иммунитета. Первая научная работа, посвященная данной теме, была опубликована в *Journal of Clinical Immunology* в 1982 году. Авторы изучали влияние интенсивных физических нагрузок на уровни иммуноглобулинов в слезистых у спортсменов-лыжников после кросс-кантри соревнований, проведенных в феврале 1981 года. При исследовании

уровней IgA было выяснено, что данный показатель был значительно ниже у спортсменов, регулярно принимавших участие в забеге, тогда как у спортсменов из запасной команды уровень IgA в слюне был выше, авторами отмечалась корреляционная связь между концентрацией IgA и сложностью гонки [14]. Степень снижения Ig коррелировала со степенью сложности гонки. Последующие исследования спортсменов также подтвердили связь снижения концентрации IgA в слюне с увеличением длительности и/или мощности физической нагрузки. Однако имеются и противоположные данные, свидетельствующие об увеличении количества антител подтипа A в слюне бегунов-марафонцев после дистанции в 42 км и у спортсменов командных видов спорта, таких как баскетбол. Несмотря на то, что полученные результаты весьма неоднозначны, большинство исследователей склонны считать, что умеренные физические нагрузки практически не влияют на изменение уровня IgA в слюне. Таким образом, особенности воздействия длительных регулярных тренировок на секрецию антител слизистых поверхностей (в частности, слюны) требуют дальнейшего изучения.

Доказано, что регулярные физические нагрузки средней интенсивности оказывают положительное влияние и на иммунный комплекс слизистых кишечника: увеличивается секреция противовоспалительных цитокинов, соотношение Th_1/Th_2 смещается в сторону последних. Физические нагрузки оказывают существенное влияние на состав микробиоты. Так, у грызунов после 5 недель умеренных аэробных нагрузок наблюдалось двукратное увеличение популяции бактерий, производящих бутират, – основной энергетический источник клеток эпителия кишечника, которые участвуют в регуляции воспалительных процессов.

В работе [9] показано, что мыши, в течение 6 недель подвергающиеся умеренной аэробной физической нагрузке, намного легче переносят воздействие токсического полихлорированного бифенила на желудочно-кишечный тракт. При этом только у тренирующихся мышей в микробиоте наблюдалось большое количество лактобацилл, являющихся важным компонентом поддержки иммунной системы слизистой кишечника. Дополнительно такого рода нагрузки снижают количество бактерий *Erysipelotrichaceae* и *Turicicibacteraceae*, связанных с ожирением и воспалением слизистой кишечника, а также с иммунодефицитом по В-, Т-лимфоцитам [2].

Согласно исследованию [8], в котором приняли участие 116 пожилых добровольцев, благодаря физической активности наблюдали снижение уровней интерлейкина-6 (ИЛ) и увеличение экспрессии ИЛ-10 у физически активных людей. Наряду с этим отмечали снижение уровня циркулирующих провоспалительных цитокинов и увеличение количества противовоспалительных цитокинов.

Проведенное исследование [9] показало, что физическая активность благотворно влияет на реакцию вакцинации против вируса гриппа у физически подготовленных пожилых людей. Это связано со снижением уровня специфических к цитомегаловирусу (ЦМВ) иммуноглобулинов (Ig), а также улучшением профиля воспалительных и $CD8^+$ Т-клеток. Установлено, что среди пожилых лиц, имеющих хроническую форму ЦМВ-инфекции, отмечалось улучшение реакции на вакцину при систематических физических нагрузках. Результаты работы доказали, что при регулярной практике комбинированных режимов упражнений в течение 12 месяцев нарастал IgA-специфический ответ на вакцинацию против вируса гриппа, что происходило параллельно с более высоким соотношением ИЛ-10/ИЛ-6 в сыворотке крови и снижением отношения эффекта к $CD8^+$ Т-клеткам. При гиподинамии, напротив, все анализируемые показатели характеризовали снижение активности системы иммунитета.

В целом, физические нагрузки в настоящее время рассматриваются как важный вспомогательный фактор иммунной системы, стимулирующий постоянный обмен лейкоцитов между кровообращением и тканями [12, 13, 25]. Дополнительным преимуществом интенсивных физических нагрузок является то, что они могут служить для обогащения кровеносного компартмента высокоцитотоксичными подмножествами Т-клеток и НК-клеток. С метаболической точки зрения умеренная физическая нагрузка вызывает небольшое, но резкое повышение уровня ИЛ-6, который оказывает прямое противовоспалительное действие, улучшая метаболизм глюкозы и липидов с течением времени [5, 10, 17, 18].

В свою очередь, ослабление иммунитета определяется как нарушение иммунной регуляции с возрастом и связано с повышенной

восприимчивостью к инфекциям, аутоиммунным заболеваниям, неоплазиям, нарушениям обмена веществ, остеопорозу и неврологическим расстройствам [18, 24]. Недавние данные подтверждают, что иммунитет может перестраиваться в процессе старения в результате взаимодействия с окружающей средой и образом жизни, что играет важную роль в формировании иммунного статуса в дальнейшей жизни. Взаимодействие иммунной системы с патогенами, микробиомом хозяина, влиянием питания и физических упражнений, психическим стрессом и многими другими внешними факторами рассматриваются как важнейшие модуляторы процесса иммунорегуляции [16, 21–23].

Ранние перекрестные исследования сравнивали иммунную функцию у пожилых мужчин и женщин с хорошей физической подготовкой и малоподвижным образом жизни [7, 26]. В одном исследовании [15] сравнивалась иммунная функция у 30 пожилых женщин, ведущих малоподвижный образ жизни, и 12 пожилых женщин соответствующего возраста с хорошей физической подготовкой, которые принимали активное участие в сорев-

нованиях на выносливость. У пожилых женщин с хорошей физической подготовкой были значительно более высокие уровни НК-клеток и функции Т-лимфоцитов, а также снижены показатели заболеваемости по сравнению с 30 пожилыми женщинами, ведущими сидячий образ жизни.

Заключение. Итак, регулярная и умеренная физическая активность улучшает состояние иммунной системы и способствует профилактике многих соматических заболеваний. Физическая активность является одним из биологических стимулов, который способствует морфофункциональному развитию организма, его совершенствованию и улучшению психоэмоционального состояния. Установлено, что тренировки на протяжении всей жизни влияют на базовые уровни про- и противовоспалительных цитокинов. Таким образом, физическая активность может служить эффективной стратегией против развития воспалительных процессов, связанных с повышенным риском возрастных заболеваний, таких как сердечно-сосудистые, диабет 2-го типа и аутоиммунные заболевания.

Список литературы

1. Изучение низкой физической активности детей младшего школьного возраста как фактора формирования повышенной массы тела (Результаты пилотного исследования) / Ж.Е. Баттакова, Г.Ж. Токмурзиева, Т.И. Слажнева и др. // *Международ. науч.-исследоват. журнал.* – 2015. – № 8 (39). – С. 89–92.
2. Радковец, А.И. Проблема гиподинамии студенческой молодежи / А.И. Радковец // *Современные проблемы формирования здорового образа жизни у студенческой молодежи: материалы Международ. науч.-практ. интернет-конференции, 16–17 мая 2018 г. Минск, Беларусь.* – Минск: БГУ. – 2018. – С. 234–237.
3. Состояние системы иммунитета человека и животных при физических нагрузках различного генеза / С.А. Калинин, С.М. Шульгина, Е.Н. Антропова и др. // *Иммунология.* – 2019. – № 40(3). – С. 72–82. DOI: 10.24411/0206-4952-2019-13008
4. Хрыков, И.С. Некоторые аспекты влияния двигательной активности на здоровье человека в современном обществе / И.С. Хрыков // *Наука-2020.* – 2022. – № 5 (59). – С. 140–144.
5. Associations of Muscle Mass and Strength with All-Cause Mortality among US Older Adults / R. Li, J. Xia, X.I. Zhang et al. // *Med Sci Sports Exerc.* – 2018. – No. 50 (3). – P. 458–467. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001448
6. Circadian Characteristics of Older Adults and Aerobic Capacity / D.S. Rocher, N. Bessot, B. Sesboüé et al. // *J of Gerontology: Medical Sciences cite as: J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* – 2016. – Vol. 71. – No. 6. – P. 817–822. DOI: 10.1093/gerona/glv195
7. Circadian rhythm phase shifts caused by timed exercise vary with chronotype / J.M. Thomas, P.A. Kern, H.M. Bush et al. // *JCI Insight.* – 2020. – No. 5. – P. 1–12. DOI: 10.1172/jci.insight.134270
8. de Souza Teixeira A.A. Aging with rhythmicity. Is it possible? Physical exercise as a pacemaker / A.A. de Souza Teixeira, F.S. Lira, J.C. Rosa-Neto // *Life Sciences.* – 2020. – No. 261. – P. 1–9. DOI: 10.1016/j.lfs.2020.118453
9. Exercise attenuates PCB-induced changes in the mouse gut microbiome / J.J. Choi, S.Y. Eum, E. Rampersaud et al. // *Environmental health perspectives.* – 2013. – No. 121 (6). – P. 725–730. DOI: 10.1289/ehp.1306534

10. Exercise time cues (zeitgebers) for human circadian systems can foster health and improve performance: A systematic review / P. Lewis, H.W. Korf, L. Kuffer et al. // *BMJ Open Sport Exerc Med.* – 2018. – No. 4. – P. 1–8. DOI: 10.1136/bmjsem-2018-000443
11. Greenwood, B.N. Exercise learned helplessness, and the stress-resistant brain / B.N. Greenwood, M. Fleshner // *Neuromol Med.* – 2008. – No. 10. – P. 81–98. DOI: 10.1007/s12017-008-8029-y
12. How does physical activity and different models of exercise training affect oxidative parameters and memory? / N. Feter, R.M. Spanevello, M.S.P. Soares et al. // *Physiol Behav.* – 2019. – No. 201. – P. 42–52. DOI: 10.1016/j.physbeh.2018.12.002
13. Huang, T. Sleep Irregularity and Risk of Cardiovascular Events / T. Huang, S. Mariani, S. Redline // *J Am Coll Cardiol.* – 2020. – No. 75. – P. 991–999. DOI: 10.1016/j.jacc.2019.12.054
14. Immune parameters in athletes before and after strenuous exercise / T.B. Tomasi, F.B. Trudeau, D. Czerwinski et al. // *J. Clin. Immunol.* – 1982. – No. 2 (3). – P. 173–178. DOI: 10.1007/BF00915219
15. Metabolic recovery from heavy exertion following banana compared to sugar beverage or water only ingestion: a randomized, crossover trial / D.C. Nieman, N.D. Gillitt, W. Sha et al. // *PLOS One.* – 2018. – No. 13. – P. 1–25. DOI: 10.1371/journal.pone.0194843
16. Obesity and Outcomes in Covid-19: When an Epidemic and Pandemic Collide / F. Sanchis-Gomar, C.J. Lavie, M.R. Mehra et al. // *Clin Proc.* – 2020. – No. 95 (7). – P. 1445–1453. DOI: 10.1016/j.mayocp.2020.05.006
17. Outdoor daylight exposure and longer sleep promote wellbeing under Covid-19 mandated restrictions / M. Korman, V. Tkachev, C. Reis et al. // *J Sleep Res.* – 2022. – No. 31. – P. 1–11. DOI: 10.1111/jsr.13471
18. Physical exercise as a tool to help the immune system against Covid-19: an integrative review of the current literature / M.P. da Silveira, K.K. da Silva Fagundes, M.R. Bizuti et al. // *Clinical and Experimental Medicine.* – 2021. – No. 21. – P. 15–28. DOI: 10.1007/s10238-020-00650-3
19. Randomized controlled trial of exercise and blood immune function in postmenopausal breast cancer survivors / A.S. Fairey, K.S. Courneya, C.J. Field et al. // *J. Appl. Physiol.* – 2005. – No. 98 (4). – P. 1534–1540. DOI: 10.1152/jappphysiol.00566.2004
20. Rest-activity rhythms in emerging adults: Implications for cardiometabolic health / E.K. Hoopes, M.A. Witman, M.N. D'Agata et al. // *Chronobiol Int.* – 2021. – No. 38. – P. 543–556. DOI: 10.1080/07420528.2020.1868490
21. Scheffer D.D.L. Exercise-induced immune system response: Anti-inflammatory status on peripheral and central organs / D.D.L. Scheffer, A. Latini // *Biochimica et biophysica acta. Molecular basis of disease.* – 2020. – No. 10. – P. 1–16. DOI: 10.1016/j.bbadis.2020.165823
22. Schuch F.B. Physical activity, exercise and mental disorders: it is time to move on / F.B. Schuch, D. Vancampfort. // *Trends Psychiatry Psychother.* – 2021. – No. 43 (3). – P. 177–184. DOI: 10.47626/2237-6089-2021-0237
23. Simpson R.J. The immunological case for staying active during the Covid-19 pandemic / R. Simpson, E. Katsanis // *Brain, behavior, and immunity.* – 2020. – No. 87. – P. 6–7. DOI: 10.1016/j.bbi.2020.04.041
24. Voluntary exercise impact on cognitive impairments in sleep-deprived intact female rats / M.A. Rajizadeh, K. Esmaeilpour, Y. Masoumi-Ardakani et al. // *Physiol Behav.* – 2018. – No. 188. – P. 58–66. DOI: 10.1016/j.physbeh.2017.12.030
25. Voluntary exercise increases resilience to social defeat stress in Syrian hamsters / R.C. Kingston, M. Smith, T. Lacey et al. // *Physiol Behav.* – 2018. – No. 188. – P. 194–198. DOI: 10.1016/j.physbeh.2018.02.003
26. Weinert D. The Impact of Physical Activity on the Circadian System: Benefits for Health, Performance and Wellbeing / D. Weinert, D. Gubin. // *Appl Sci.* – 2022. – No. 12. – P. 1–12. DOI: 10.3390/APP12189220.

References

1. Battakova Zh.E., Tokmurzieva G.Zh., Slazhneva T.I. et al. [Study of Low Physical Activity in Children of Primary School Age as a Factor in the Formation of Increased Body Weight (Results of a Pilot Study)]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Research Journal], 2015, no. 8 (39), pp. 89–92. (in Russ.)

2. Kalinin S.A., Shul'gina S.M., Antropova E.N. et al. [The State of the Immune System of Humans and Animals During Physical Activity of Various Origins]. *Immunologiya* [Immunology], 2019, no. 40 (3), pp. 72–82. (in Russ.) DOI: 10.24411/0206-4952-2019-13008
3. Radkovets A.I. [The Problem of Physical Inactivity Among Students]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii* [Modern Problems of Developing a Healthy Lifestyle Among Students. Materials of the International Scientific and Practical Internet Conference], 2018, pp. 234–237. (in Russ.)
4. Khrykov I.S. [Some Aspects of the Influence of Physical Activity on Human Health in Modern Society]. *Nauka-2020* [Science-2020], 2022, no. 5 (59), pp. 140–144. (in Russ.)
5. Li R., Xia J., Zhang X.I. et al. Associations of Muscle Mass and Strength with All-Cause Mortality among US Older Adults. *Medicine Science Sports Exercise*, 2018, no. 50 (3), pp. 458–467. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001448
6. Rocher D.S., Bessot N., Sesboüé B. et al. Circadian Characteristics of Older Adults and Aerobic Capacity. *Journals of Gerontology: Medical Sciences* Cite as: *Journal Gerontology A Biology Science Medical Science*, 2016, vol. 71, no. 6, pp. 817–822.
7. Thomas J.M., Kern P.A., Bush H.M. et al. Circadian Rhythm Phase Shifts Caused by Timed Exercise Vary with Chronotype. *JCI Insight*, 2020, no. 5, pp. 1–12. DOI: 10.1172/jci.insight.134270
8. de Souza Teixeira A.A., Lira F.S., Rosa-Neto J.C. Aging with Rhythmicity. Is it Possible? Physical Exercise as a Pacemaker. *Life Sciences*, 2020, no. 261, pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.lfs.2020.118453
9. Choi J.J., Eum S.Y., Rampersaud E. et al. Exercise Attenuates PCB-induced Changes in the Mouse Gut Microbiome. *Environmental Health Perspectives*, 2013, no. 121 (6), pp. 725–730. DOI: 10.1289/ehp.1306534
10. Lewis P., Korf H.W., Kuffer L. et al. Exercise Time Cues (Zeitgebers) for Human Circadian Systems can Foster Health and Improve Performance: A Systematic Review. *BMJ Open Sport Exercise Medicine*, 2018, no. 4, pp. 1–8. DOI: 10.1136/bmjsem-2018-000443
11. Greenwood B.N., Fleshner M. Exercise Learned Helplessness, and the Stress-Resistant Brain. *Neuromol Medicine*, 2008, no. 10, pp. 81–98. DOI: 10.1007/s12017-008-8029-y
12. Feter N., Spanevello R.M., Soares M.S.P. et al. How Does Physical Activity and Different Models of Exercise Training Affect Oxidative Parameters and Memory? *Physiology Behavior*, 2019, no. 201, pp. 42–52. DOI: 10.1016/j.physbeh.2018.12.002
13. Huang T., Mariani S., Redline S. Sleep Irregularity and Risk of Cardiovascular Events. *Journal American Collection Cardiology*, 2020, no. 75, pp. 991–999. DOI: 10.1016/j.jacc.2019.12.054
14. Tomasi T.B., Trudeau F.B., Czerwinski D. et al. Immune Parameters in Athletes before and After Strenuous Exercise. *Journal Clinic Immunology*, 1982, no. 2 (3), pp. 173–178. DOI: 10.1007/BF00915219
15. Nieman D.C., Gillitt N.D., Sha W. et al. Metabolic Recovery from Heavy Exertion Following Banana Compared to Sugar Beverage or Water Only Ingestion: a Randomized, Crossover Trial. *PLOS One*, 2018, no. 13, pp. 1–25. DOI: 10.1371/journal.pone.0194843
16. Sanchis-Gomar F., Lavie C.J., Mehra M.R. et al. Obesity and Outcomes in Covid-19: When an Epidemic and Pandemic Collide. *Clin Proc.*, 2020, no. 95 (7), pp. 1445–1453. DOI: 10.1016/j.mayocp.2020.05.006
17. Korman M., Tkachev V., Reis C. et al. Outdoor Daylight Exposure and Longer Sleep Promote Wellbeing Under Covid-19 Mandated Restrictions. *Journal Sleep Research*, 2022, no. 31, pp. 1–11. DOI: 10.1111/jsr.13471
18. da Silveira M.P., da Silva Fagundes K.K., Bizuti M.R. et al. Physical Exercise as a Tool to Help the Immune System Against Covid-19: an Integrative Review of the Current Literature. *Clinical and Experimental Medicine*, 2021, no. 21, pp. 15–28. DOI: 10.1007/s10238-020-00650-3
19. Fairey A.S., Courneya K.S., Field C.J. et al. Randomized Controlled Trial of Exercise and Blood Immune Function in Postmenopausal Breast Cancer Survivors. *Journal Applied Physiology*, 2005, no. 98 (4), pp. 1534–1540. DOI: 10.1152/jappphysiol.00566.2004
20. Hoopes E.K., Witman M.A., D'Agata M.N. et al. Rest-activity Rhythms in Emerging Adults: Implications for Cardiometabolic Health. *Chronobiology International*, 2021, no. 38, pp. 543–556. DOI: 10.1080/07420528.2020.1868490

21. Scheffer D.D.L., Latini A. Exercise-induced Immune System Response: Anti-inflammatory Status on Peripheral and Central Organs. *Biochimica et Biophysica Acta. Molecular Basis of Disease*, 2020, no. 10, pp. 1–16. DOI: 10.1016/j.bbadis.2020.165823

22. Schuch F.B., Vancampfort D. Physical Activity, Exercise and Mental Disorders: it is Time to Move on. *Trends Psychiatry Psychother*, 2021, no. 43 (3), pp. 177–184. DOI: 10.47626/2237-6089-2021-0237

23. Simpson R., Katsanis E. The Immunological Case for Staying Active During the Covid-19 Pandemic. *Brain, Behavior, and Immunity*, 2020, no. 87, pp. 6–7. DOI: 10.1016/j.bbi.2020.04.041

24. Rajizadeh M.A., Esmailpour K., Masoumi-Ardakani Y. et al. Voluntary Exercise Impact on Cognitive Impairments in Sleep-deprived Intact Female Rats. *Physiology Behavior*, 2018, no. 188, pp. 58–66. DOI: 10.1016/j.physbeh.2017.12.030

25. Kingston R.C., Smith M., Lacey T. et al. Voluntary Exercise Increases Resilience to Social Defeat Stress in Syrian Hamsters. *Physiology Behavior*, 2018, no. 188, pp. 194–198. DOI: 10.1016/j.physbeh.2018.02.003

26. Weinert D., Gubin D. The Impact of Physical Activity on the Circadian System: Benefits for Health, Performance and Wellbeing. *Appl Science*, 2022, no. 12, pp. 1–12. DOI: 10.3390/APP12189220

Информация об авторах

Болдырева Юлия Викторовна, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры биологической химии, Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия.

Губин Денис Геннадьевич, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры биологии, Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия.

Information about the authors

Yulia V. Boldyreva, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biological Chemistry, Tyumen State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Tyumen, Russia.

Denis G. Gubin, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Biology, Tyumen State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Tyumen, Russia.

Статья поступила в редакцию 15.08.2023

The article was submitted 15.08.2023