

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕЙКОЦИТАРНЫХ ИНДЕКСОВ В ДИАГНОСТИКЕ ИММУННЫХ НАРУШЕНИЙ У СПОРТСМЕНОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

**Э.Н. Трушина**, [trushina@ion.ru](mailto:trushina@ion.ru), <http://orcid.org/0000-0002-0035-3629>

**О.К. Мустафина**, [mustafina@ion.ru](mailto:mustafina@ion.ru), <http://orcid.org/0000-0001-7231-9377>

Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи,  
Москва, Россия

**Аннотация.** Цель: проанализировать результаты исследований по характеристике лейкоцитарных индексов, используемых в спортивной медицине, и оценить их значимость в качестве маркеров нарушения иммунного статуса и перетренированности у спортсменов. **Материалы и методы.** Поиск литературных источников осуществляли в интернет-ресурсе PubMed, а также использовали базы данных Scopus и Web of Science. Сайты издательств Springer и Elsevier использовали для доступа к полному тексту статей. В обзор включали источники информации (обзоры и оригинальные статьи), в которых освещались вопросы изучения гематологического профиля у спортсменов при различных физических нагрузках. **Результаты.** В обзоре представлены материалы исследований, посвященных определению гематологических маркеров нарушения иммунного статуса спортсменов после интенсивных физических нагрузок. Предложено использование интегративных и информативных по оценке состояния спортсмена в различные периоды тренировочной и соревновательной деятельности лейкоцитарных индексов: соотношение нейтрофилов (гранулоцитов) к лимфоцитам (NLR или GLR), соотношение моноцитов к лимфоцитам (MLR), соотношение тромбоцитов к лимфоцитам (PLR) и системный индекс иммунного воспаления ( $SII = NLR \times \text{тромбоциты}$ ). Системный индекс иммунного воспаления используется в клинической практике в качестве прогностического маркера при воспалительных процессах различной этиологии. **Заключение.** Гематологические лейкоцитарные индексы могут служить маркерами нарушения иммунного статуса и перетренированности у спортсменов и являются эффективным, недорогим и легко воспроизводимым методом оценки.

**Ключевые слова:** лейкоцитарные индексы, клеточный иммунитет, спортсмены

**Для цитирования:** Трушина Э.Н., Мустафина О.К. Об эффективности применения лейкоцитарных индексов в диагностике иммунных нарушений у спортсменов (обзор литературы) // Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23, № 4. С. 40–46. DOI: 10.14529/hsm230405

Review article  
DOI: 10.14529/hsm230405

## ON THE EFFICIENCY OF LEUKOCYTE INDICES IN THE DIAGNOSIS OF IMMUNE DISORDERS IN ATHLETES (A REVIEW OF FOREIGN LITERATURE)

**E.N. Trushina**, [trushina@ion.ru](mailto:trushina@ion.ru), <http://orcid.org/0000-0002-0035-3629>

**O.K. Mustafina**, [mustafina@ion.ru](mailto:mustafina@ion.ru), <http://orcid.org/0000-0001-7231-9377>

Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

**Abstract. Aim.** To analyze the data from studies on the use of leukocyte indices in sports medicine and evaluate their significance as markers of impaired immune status and overtraining in athletes. **Material and methods.** A literature review was conducted using the following databases: PubMed, Scopus, and Web of Science. Full articles were obtained from the Springer and Elsevier websites. The review included reviews and original articles about the hematological profile of athletes under exercise. **Results.** This review provides data about studies of hematological markers that indicated an impaired immune status in athletes after

intense exercise. The use of integrative and informative leukocyte indices is proposed depending on the periods of training and competitive activity, including the neutrophil-to-lymphocyte ratio, the monocyte-to-lymphocyte ratio, the platelet-to-lymphocyte ratio, and the systemic immune-inflammation index ( $SII = NLR \times \text{platelets}$ ). The systemic immune-inflammation index is used in clinical practice as a prognostic marker of inflammatory processes of various etiologies. **Conclusion.** Hematological leukocyte indices can serve as markers of impaired immune status and overtraining in athletes and are an effective, inexpensive, and easily reproducible assessment method.

**Keywords:** leukocyte indices, cellular immunity, athletes

**For citation:** Trushina E.N., Mustafina O.K. On the efficiency of leukocyte indices in the diagnosis of immune disorders in athletes (a review of foreign literature). *Human. Sport. Medicine.* 2023;23(4):40–46. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm230405

**Введение.** Гематологический контроль в спортивной практике используется для оценки функционального состояния спортсмена, уровня его тренированности, характера изменений метаболизма. Адаптационные реакции спортсмена, обусловленные нейроэндокринными изменениями и психоэмоциональным напряжением, отражаются в морфологическом составе крови<sup>1</sup>. Гематологические лейкоцитарные индексы являются интегральными показателями, которые рассчитываются по данным общего анализа крови, они отражают ответную реакцию организма на физиологические (адаптационные) и патологические (воспалительные, аллергические) процессы. В отечественной клинической диагностике предложен целый ряд (около 18) лейкоцитарных индексов, которые представляют собой соотношение содержания различных форм лейкоцитов (миелоциты, юные нейтрофилы палочкоядерные нейтрофилы, сегментоядерные нейтрофилы, моноциты, лимфоциты, эозинофилы): индекс Гаркави, лейкоцитарный индекс интоксикации, ядерный индекс степени эндотоксикоза, ядерный индекс сдвига, индекс иммунореактивности, нейтрофильно-лимфоцитарный коэффициент, лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс и т. д. Однако используются они крайне редко и в основном для диагностики и прогноза течения воспалительных и инфекционных заболеваний [1–3]. В доступных литературных источниках обнаружены лишь единичные сообщения о применении лейкоцитарных индексов в спортивной медицине [4, 5].

<sup>1</sup> Оценка и интерпретация биохимических показателей высококвалифицированных спортсменов в ходе тренировочно-спортивной деятельности: метод. рекомендации / под ред. проф. В.В. Уйба. М.: ФМБА России, 2018. 40 с.

**Цель работы** – проанализировать результаты исследований по характеристике лейкоцитарных индексов, используемых в спортивной медицине, и оценить их значимость в качестве маркеров нарушения иммунного статуса и перетренированности у спортсменов.

**Материалы и методы.** Поиск литературных источников осуществляли в интернет-ресурсе PubMed, а также использовали базы данных Scopus и Web of Science. Сайты издательств Springer и Elsevier использовали для доступа к полному тексту статей. В обзор включали источники информации (обзоры и оригинальные статьи), в которых освещались вопросы изучения гематологического профиля у спортсменов при различных физических нагрузках.

**Результаты.** Регулярные физические упражнения умеренной интенсивности оказывают положительное влияние на иммунитет, в то время как интенсивные физические нагрузки, выполняемые профессиональными спортсменами, часто приводят к транзиторной иммуносупрессии, при которой повышается риск развития воспалительных и инфекционных заболеваний [15, 24, 26, 32]. Иммунная дисфункция при физических нагрузках обусловлена повышением уровня гормонов, обладающих иммуномодулирующим действием, таких как адреналин, фактор роста, кортизол [9, 19]. При этом происходит повышенное образование свободных радикалов, активация перекисного окисления липидов, высвобождение во внеклеточную среду аларминов – эндогенных молекулярных факторов, которые впоследствии активируют иммунную систему [21, 35].

Наиболее часто определяемым гематологическим параметром при интенсивной физической нагрузке у спортсменов является лейкоцитоз. Лейкоцитоз может быть следствием

не только клеточной пролиферации в костном мозге и лимфоидных органах при воспалении, но и демаргинации лейкоцитов и выхода клеток в кровотоки из депонирующих органов: селезенки, печени, подкожной жировой клетчатки [19, 22]. Усиленная мобилизация лейкоцитов в кровотоки также может быть опосредована катехоламинами, высвобождаемыми при физических нагрузках, которые связываются с  $\beta$ 2-адренорецепторами лейкоцитов [10, 27]. Повышенное содержание лейкоцитов в периферической крови характерно для воспалительных процессов, в то время как изменение процентного соотношения различных видов лейкоцитов (лейкоцитарная формула) может быть связано с физической нагрузкой или недостаточным восстановлением после тренировки [18, 23].

Повышенное содержание лейкоцитов в периферической крови спортсмена обусловлено ростом числа нейтрофилов и лимфоцитов во время физической нагрузки. В начальный период восстановления абсолютное содержание нейтрофилов имеет тенденцию к повышению, в то время как число лимфоцитов снижается [16]. Сроки восстановления иммунной реактивности значительно различаются в зависимости от продолжительности и интенсивности применяемого режима упражнений. После прекращения физической нагрузки через 1–2 часа классическая двухфазная реакция лимфоцитов на физическую нагрузку характеризуется резким снижением их содержания в периферической крови. Абсолютное содержание лимфоцитов в периферической крови обычно возвращается к дотренировочному уровню в течение 24 часов [12]. Лимфопения, вызванная физической нагрузкой, является следствием перераспределения лимфоцитов в потенциальные места воспаления, тем самым усиливается клеточный иммунный ответ и регуляция [14].

Установлено влияние интенсивных физических нагрузок спортсменов на состав и функциональную активность иммунокомпетентных клеток [9, 30]. Лимфоцитоз, развивающийся во время и сразу после окончания физической нагрузки, обусловлен главным образом притоком естественных клеток-киллеров (NK-клеток), количество которых увеличивается в несколько раз, и цитотоксических Т-лимфоцитов CD8+, число которых увеличивается в меньшей, но все же значительной степени [7, 8]. Эта клеточная мобили-

зация зависит от интенсивности упражнений, частично обусловлена повышением артериального давления, гипертермией, гиперемией во время упражнений [29]. Реакция мобилизации лимфоцитов, наблюдаемая во время физической нагрузки, отражает дифференциальную экспрессию бета-2-адренорецепторов на лимфоцитах: NK-клетки > цитотоксические Т-лимфоциты > В-лимфоциты > Т-лимфоциты хелперы > регуляторные Т-лимфоциты [7, 11, 20, 34]. Установлено, что основными патогенетическими факторами, приводящими к нарушению численности и функции NK-клеток в условиях физического перенапряжения, являются повышенная экспрессия провоспалительных цитокинов, повышение уровней гормонов стресса: катехоламинов, кортизола, бета-эндорфинов, а также гипертермия [25]. Транзиторная иммуносупрессия, развивающаяся после физической нагрузки, обусловлена снижением активности клеточного иммунитета, основными эффекторами которого являются Т-хелперы 1-го типа [31]. При этом повышается относительное содержание Т-цитотоксических лимфоцитов, что может быть связано с более высокой плотностью чувствительных к катехоламинам  $\beta$ 2-адренорецепторов на поверхности Т-CD8+ клеток по сравнению с Т-CD4+ лимфоцитами [10, 26].

Методы проточной цитометрии, применяемые для идентификации субпопуляций лимфоцитов, являются дорогостоящими и малодоступными для спортивных лабораторно-диагностических центров. Одним из основных методов оценки состояния спортсмена и его адаптационного потенциала является общий анализ крови. Для идентификации клеточных маркеров воспаления у спортсменов в тренировочный и соревновательный периоды помимо классического общего анализа крови используются интегративные лейкоцитарные индексы [9, 13, 33]. К ним относятся: соотношение нейтрофилов (гранулоцитов) к лимфоцитам (NLR или GLR), соотношение моноцитов к лимфоцитам (MLR), соотношение тромбоцитов к лимфоцитам (PLR) и системный индекс иммунного воспаления ( $SII = NLR \times \text{тромбоциты}$ ). При наличии лейкоцитоза у спортсменов во время и сразу после физической нагрузки кинетика субпопуляций лейкоцитов может значительно различаться. Так, установлено, что число нейтрофилов и лимфоцитов увеличивается во время тренировки (нейтрофилия, лимфоцитоз), но в восстанови-

тельный период эти клеточные популяции показывают разную кинетику. Объединяя численность нейтрофилов и лимфоцитов в один параметр, NLR может характеризоваться как маркер воспаления в условиях физической нагрузки. Лейкоцитарный индекс PLR также может считаться клеточным маркером воспаления. Важно, что этот маркер учитывает не только субпопуляции лейкоцитов, но и количество тромбоцитов. Системный индекс иммунного воспаления SII объединяет кинетику NLR и PLR в один параметр и характеризует три клеточные популяции, рассчитывается путем умножения NLR на количество тромбоцитов. В настоящее время в клинической практике и спортивной медицине SII используется в качестве прогностического маркера при воспалительных процессах [9].

По сравнению с ответом иммунных клеток достоверные изменения в NLR и SII при интенсивной физической нагрузке обнаруживаются только через 1–2 часа после ее прекращения, что свидетельствует об отсроченном ответе этих маркеров [16]. Установлена эффективность определения SII на различных этапах спортивной деятельности и периодов восстановления, поскольку SII учитывает больше популяций иммунных клеток, чем NLR или PLR. В то время как NLR учитывает две основные популяции иммунных клеток, на которые воздействуют упражнения (нейтрофилы и лимфоциты), SII дополнительно учитывает количество тромбоцитов. Эти результаты подтверждают выводы Joisten et al. [12], которые определили NLR и SII как дешевые и эффективные по периодам исследования маркеры воспаления после интенсивных физических нагрузок. По мнению P. Wahl et al. [9] интеграция индуцированной физической нагрузкой нейтрофилии, лимфоцитопении и тромбоцитоза в один параметр создает физиологическую основу для применения SII в качестве универсального и надежного маркера для оценки воспаления, вызванного физической нагрузкой.

В работе T. Podgórski et al. [6] установле-

ны корреляционные взаимосвязи между повреждением мышц и маркерами воспаления у 21 футболиста в период 6-месячного тренировочного цикла. Спортсмены были тестированы четыре раза: в начале тренировочного периода, через 1,5 месяца тренировок, в середине и в конце соревновательного периода. В качестве маркеров повреждения мышц в периферической крови спортсменов изучали содержание креатинкиназы (СК), миоглобина (MGB) и лактатдегидрогеназы (LDH), уровень которых, согласно данным [17, 28], отражает степень повреждения миоцитов при интенсивных физических нагрузках и недостаточном периоде восстановления спортсмена. В исследовании [6] повышение уровней СК, MGB и LDH отмечалось в соревновательный период, который включал наряду с тренировочным процессом и матчи чемпионата. Изучение маркеров воспаления во время контролируемого тренировочного периода показало достоверное увеличение количества тромбоцитов (PLT) и относительного содержания лимфоцитов (LYM) и моноцитов (MON), а также снижение индексов GLR, LMR и относительного содержания гранулоцитов (GRA). Корреляционный анализ показал несколько статистически значимых взаимосвязей между показателями мышечного повреждения и воспаления: положительные корреляции между относительным содержанием LYM и MGB, а также между относительным содержанием MON, MGB и LDH. Кроме того, были обнаружены значимые отрицательные корреляции между MGB и процентом GRA, а также между MGB и GLR. Таким образом, определение корреляционных взаимосвязей между показателями мышечного повреждения и маркерами воспаления может использоваться для мониторинга перетренированности и утомления спортсменов.

**Заключение.** Гематологические лейкоцитарные индексы могут служить маркерами нарушения иммунного статуса и перетренированности у спортсменов и являются эффективным, недорогим и легко воспроизводимым методом оценки.

#### Список литературы / References

1. Иванов, Д.О., Шабалов Н.П., Шабалова Н.Н. Лейкоцитарные индексы клеточной реактивности как показатель наличия гипо- и гиперэргического вариантов неонатального сепсиса // Новости Фармакотерапии. 2005. № 3. С. 62–69. [Ivanov D.O., Shabalov N.P., Shabalova N.N. [Leukocyte Indices of Cellular Reactivity as an Indicator of the Presence of Hypo- and Hyperergic Variants of Neonatal Sepsis]. *Novosty Farmacoterapii* [News of Pharmacotherapy], 2005, no. 3, pp. 62–69. (in Russ.)]

2. Сакович А.Р. Гематологические лейкоцитарные индексы при остром гнойном синусите // Мед. журнал. 2012. Т. 42, № 4. С. 88–91. [Sakovich A.R. [Hematological Leukocyte Indices in Acute Purulent Sinusitis]. *Meditinski zhurnal* [Medical Journal], 2012, vol. 42, no. 4, pp. 88–91. (in Russ.)]
3. Сакович А.Р., Перминов А.Б. Гематологические лейкоцитарные индексы при лор-патологии // Мед. журнал. 2014. № 2. С. 29–30. [Sakovich A.R., Perminov A.B. [Hematological Leukocyte Indices in ENT Pathology]. *Meditinski zhurnal* [Medical Journal], 2014, no. 2, pp. 29–30. (in Russ.)]
4. Трищенкова С.Н. Интегральные гематологические показатели у спортсменов с хронической патологией глотки // Рос. оториноларингология. 2012. Т. 56, № 1. С. 166–168. [Trishchenkova S.N. [Integral Hematological Parameters in Athletes with Chronic Pathology of the Pharynx]. *Rossiyskaya otorinolaringologiya* [Russian Otorhinolaryngology], 2012, vol. 56 (1), pp. 166–168. (in Russ.)]
5. Трищенкова С.Н., Екимовских А.В., Егоров Г.Е. Интегральные гематологические показатели у спортсменов // Материалы I Всерос. конгресса «Медицина для спорта», 19–20 сент. 2011 г. – С. 36–38. [Trishchenkova S.N., Ekimovskikh A.V., Egorov G.E. [Integral Hematological Parameters in Athletes]. *Materialy I Vserossiyskogo kongressa "Meditsina dlya sporta"* [Materials of the I All-Russian Congress Medicine for Sports], 2011, pp. 36–38. (in Russ.)]
6. Podgórski T., Kryściak J., Pluta B. et al. A Practical Approach to Monitoring Biomarkers of Inflammation and Muscle Damage in Youth Soccer Players During a 6-Month Training Cycle. *Journal Human Kinet.*, 2021, vol. 80, pp. 185–197. DOI: 10.2478/hukin-2021-0093
7. Campbell J.P., Riddell N.E., Burns V.E. et al. Acute Exercise Mobilises CD8+ T Lymphocytes Exhibiting an Effector-Memory Phenotype. *Brain, Behavior, and Immunity*, 2009, vol. 23 (6), pp. 767–775. DOI: 10.1016/j.bbi.2009.02.011
8. Shinkai S., Shore S., Shek P.N., Shephard R.J. Acute Exercise and Immune Function. Relationship between Lymphocyte Activity and Changes in Subset Counts. *International Journal of Sports Medicine*, 1992, vol. 13 (6), pp. 452–461. DOI: 10.1055/s-2007-1021297
9. Wahl P., Mathes S., Bloch W., Zimmer P. Acute Impact of Recovery on the Restoration of Cellular Immunological Homeostasis. *International Journal of Sports Medicine*, 2020, vol. 41, pp. 12–20. DOI: 10.1055/a-1015-0453
10. Graff R.M., Kunz H.E. Agha/β<sub>2</sub>-Adrenergic Receptor Signaling Mediates the Preferential Mobilization of Differentiated Subsets of CD8+ T-cells, NK-cells and Non-classical Monocytes in Response to Acute Exercise in Humans. *Brain, Behavior, and Immunity*, 2018, vol. 74, pp. 143–153. DOI: 10.1016/j.bbi.2018.08.017
11. Kruger K., Alack K., Ringseis R. et al. Apoptosis of T-cell Subsets After Acute High-Intensity Interval Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2016, vol. 48 (10), pp. 2021–2029. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000979
12. Joisten N., Walzik D., Schenk A. et al. Aqua Cycling for Immunological Recovery After Intensive, Eccentric Exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 2019, vol. 119 (6), pp. 1369–1375. DOI: 10.1007/s00421-019-04127-4
13. Cadegiani F.A., Kater C.E. Novel Causes and Consequences of Overtraining Syndrome: the EROS-DISRUPTORS Study. *BMC Sports Science Medicine Rehabilitation*, 2019, vol. 11, p. 21. DOI: 10.1186/s13102-019-0132-x
14. Campbell J.P., Turner J.E. Debunking the Myth of Exercise-induced Immune Suppression: Redefining the Impact of Exercise on Immunological Health Across the Lifespan. *Frontiers in Immunology*, 2018, vol. 9 (648), pp. 1–21. DOI: 10.3389/fimmu.2018.00648
15. Simpson R.J., Campbell J.P., Gleeson M. et al. Can Exercise Affect Immune Function to Increase Susceptibility to Infection? *Exercise Immunology Review*, 2020, vol. 26, pp. 8–22.
16. Schlagheck M.L., Walzik D., Joisten N. et al. Cellular Immune Response to Acute Exercise: Comparison of Endurance and Resistance Exercise. *European Journal of Haematology*, 2020, vol. 105 (1), pp. 75–84. DOI: 10.1111/ejh.13412
17. Romagnoli M., Sanchis-Gomar F., Alis R Risso-Ballester J. et al. Changes in Muscle Damage, Inflammation, and Fatigue-Related Parameters in Young Elite Soccer Players after a Match. *Journal Sports Medicine Physical Fitness*, 2016, vol. 56 (10), pp. 1198–1205.

18. Farjallah M.A., Ghattassi K., Ben Mahmoud L. et al. Effect of Nocturnal Melatonin Intake on Cellular Damage and Recovery from Repeated Sprint Performance During an Intensive Training Schedule. *Chronobiology International*, 2020, vol. 37, pp. 686–698. DOI: 10.1080/07420528.2020.1746797
19. Simpson R.J., Kunz H., Agha N., Graff R. Exercise and the Regulation of Immune Functions. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, 2015, vol. 135, pp. 355–380. DOI: 10.1016/bs.pmbts.2015.08.001
20. Turner J.E., Spielmann G., Wadley A.J. et al. Exercise-induced B Cell Mobilisation: Preliminary Evidence for an Influx of Immature Cells into the Bloodstream. *Physiology & Behavior*, 2016, vol. 164, pp. 376–382. DOI: 10.1016/j.physbeh.2016.06.023
21. Goh J., Behringer M. Exercise Alarms the Immune System: A HMGB1 Perspective. *Cytokine*, 2018, vol. 110, pp. 222–225. DOI: 10.1016/j.cyto.2018.06.031
22. Goh J., Lim C.L., Suzuki K. Effects of Endurance-, Strength-, and Concurrent Training on Cytokines and Inflammation. *Schumann M., Rønnestad B.R., editors. Concurrent Aerobic and Strength Training*. Springer; Basel, Switzerland, 2019, pp. 125–138. DOI: 10.1007/978-3-319-75547-2\_9
23. Anđelković M., Baralić I., Đorđević B. et al. Hematological and Biochemical Parameters in Elite Soccer Players During a Competitive Half Season. *Journal Medicine Biochemistry*, 2015, vol. 34 (4), pp. 460–466. DOI: 10.2478/jomb-2014-0057
24. Cerqueira É., Marinho D.A., Neiva H.P., Lourenço O. Inflammatory Effects of High and Moderate Intensity Exercise – A Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, 2020, vol. 10, p. 1550. DOI: 10.3389/fphys.2019.01550
25. Pedersen B.K., Illum H. NK Cell Response to Physical Activity: Possible Mechanisms of Action. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1994, vol. 26 (2), pp. 140–146. DOI: 10.1249/00005768-199402000-00003
26. Kurowski M., Seys S., Bonini M. et al. Physical Exercise, Immune Response, and Susceptibility to Infections-current Knowledge and Growing Research Areas. *Allergy*, 2022, vol. 77 (9), pp. 2653–2664. DOI: 10.1111/all.15328
27. Peake J.M., Neubauer O., Walsh N.P., Simpson R.J. Recovery of the Immune System After Exercise. *Journal of Applied Physiology*, 2017, vol. 122 (5), pp. 1077–1087. DOI: 10.1152/jappphysiol.00622.2016
28. Becatti M., Mannucci A., Barygina V. et al. Redox Status Alterations During the Competitive Season in Elite Soccer Players: focus on Peripheral Leukocyte-Derived ROS. *International Emergency Medicine*, 2017, vol. 12 (6), pp. 777–788. DOI: 10.1007/s11739-017-1653-5
29. Shephard R.J. Adhesion Molecules, Catecholamines and Leucocyte Redistribution During and Following Exercise. *American Journal of Sports Medicine*, 2003, vol. 33 (4), pp. 261–284. DOI: 10.2165/00007256-200333040-00002
30. Shek P.N., Sabiston B.N., Buguet A., Radomski M.W. Strenuous Exercise and Immunological Changes: a Multiple-time-point Analysis of Leukocyte Subsets, CD4/CD8 Ratio, Immunoglobulin Production and NK Cell Response. *International Journal of Sports Medicine*, 1995, vol. 16 (7), pp. 466–474. DOI: 10.1055/s-2007-973039
31. Suzuki K., Hayashida H. Effect of Exercise Intensity on Cell-Mediated Immunity. *Sports (Basel)*, 2021, vol. 9 (1), p. 8. DOI: 10.3390/sports9010008
32. Kakanis M.W., Peake J., Brenu E.W. et al. The Open Window of Susceptibility to Infection After Acute Exercise in Healthy Young Male Elite Athletes. *Exercise Immunology Review*, 2010, vol. 16, pp. 119–137.
33. Walzik D., Joisten N., Zacher J., Zimmer P. Transferring Clinically Established Immune Inflammation Markers into Exercise Physiology: Focus on Neutrophil-to-lymphocyte Ratio, Platelet-to-lymphocyte Ratio and Systemic Immune-inflammation Index. *European Journal of Applied Physiology*, 2021, vol. 121 (7), pp. 1803–1814. DOI: 10.1007/s00421-021-04668-7
34. Clifford T., Wood M.J., Stocks P. et al. T-regulatory Cells Exhibit a Biphasic Response to Prolonged Endurance Exercise in Humans. *European Journal of Applied Physiology*, 2017, vol. 117 (8), pp. 1727–1737. DOI: 10.1007/s00421-017-3667-0
35. Yang D., Han Z., Oppenheim J.J. Alarmins and Immunity. *Immunological Reviews*, 2017, vol. 280, pp. 41–56. DOI: 10.1111/imr.12577

*Информация об авторах*

**Трушина Элеонора Николаевна**, кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией иммунологии, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия.

**Мустафина Оксана Константиновна**, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунологии, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия.

*Information about the authors*

**Eleonora N. Trushina**, Candidate of Medical Sciences, Head of the Laboratory of Immunology, Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia.

**Oksana K. Mustafina**, Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Immunology, Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

**Статья поступила в редакцию 12.08.2023**

**The article was submitted 12.08.2023**