DOI https://doi.org/10.32782/spmed.2025.2.49

Імунологічні аспекти рухової активності спортсменів

УДК 57.02/08

[1]О.І. Осадча, [2]Г.М. Боярська

[1]Національний університет фізичного виховання та спорту України, Київ, Україна
[2]ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології» НАМН України», Київ, Україна

Резюме. Значення імунної системи в реалізації рухової активності давно відома. Визначено, що ці взаємодії складні, залежать від рівня та виду фізичного навантаження. *Мета* – на основі аналізу та узагальнення визначити вплив фізичної активності на реалізацію реакцій імунної системи атлетів. *Методи*. Матеріалами дослідження стали сучасні наукові публікації вітчизняних та зарубіжних авторів із проблем впливу фізичних навантажень різної інтенсивності на стан імунної системи у спортсменів. *Результати.* Помірні інтенсивні вправи викликають лейкоцитоз із легким протизапальним профілем цитокінів та підвищення активності імунних реакцій. Значні фізичні навантаження, навпаки, зумовлюють розвиток протизапальних процесів із розвитком вторинних імунодефіцітних станів. Імунні реакції, пов'язані з фізичними вправами, модулюються статтю, віком та способом життя. Усі ці фактори разом впливають на імунний баланс між посиленням або дисфункцією. *Висновки.* Надмірні тренування, розумовий стрес або недостатнє відновлення створюють ризик виснаження імунних клітин та стресових реакцій гіпоталамо-гіпофізарної осі (ГГС), що викликають імунодепресію з негативним впливом на продуктивність або загальний стан здоров'я. Заняття спортом забезпечує додаткові імунні переваги з погляду забезпечення регулярності, соціальної інтеграції, психічного благополуччя, більш здорового способу життя та довгострокове здоров'я.

Ключові слова: рухова активність, фізичні навантаження, імунологічна реактивність, запальні реакції.

Immunological aspects of motor activity of athletes

[1]O.I. Osadcha, [2]G.M. Boyarska

[1]National University of Physical Education and Sports of Ukraine, Kiev
[2]DU «National Scientific Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology» of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kiev.

Abstract. The importance of the immune system in the implementation of respiratory activity has long been known. It is indicated that this mutual relationship is related to the level and type of physical attraction. Meta-robots – based on analysis and analysis, to determine the influx of physical activity on the implementation of the reaction of the immune system of athletes. *Materials and research methods.* The research materials included current scientific publications of domestic and foreign authors on the problems of the influx of physical pressure of varying intensity on the immune system in athletes. Poorly intense leukocytosis with a mild anti-inflammatory profile of cytokines and increased activity of immune reactions can occur. Significant physical demands also combine the development of anti-inflammatory processes with the development of secondary immunodeficiency states. Immune reactions associated with physical rights are modulated by the state and way of life. All these factors simultaneously influence the immune balance between strengthening and dysfunc-

© О.І. Осадча, Г.М. Боярська, 2025
This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

tion.Excessive exercise,mental stress or lack of exercise create arisk of suppression of immune cells and stress reactions of the hypothalamic-pituitary axis (HPA),which leads toimmunodepression. negative impact on productivityor overall health. Playing sports will provide additional immune benefits in terms of regularity,social integration, mental well-being and ahealthier wayof living for long-term health.
Keywords: rotary activity,physical stimulation,immunological reactivity,ignition reactions.

Постановка проблеми. Імунна система як одна з ключових інтегральних та регуляторних систем людського організму перебуває в останні роки у сфері інтересів фахівців різних галузей медицини та суміжних спеціальностей. Увага до змін у системі імунітету переросла у глобальну медико-біологічну проблему.

Фізична активність має складний зв'язок з імунною функцією в організмі атлетів, де помірні вправи зазвичай корисні, але інтенсивні тренування можуть призводити до значного пригнічення імунного захисту та підвищення ризику захворювань у спортсменів. Імунна система дуже чутлива до вправ, при цьому особливості змін рівнів реактивності відображають ступінь фізіологічного стресу, викликаного фізичним навантаженням [1; 2; 29].

Сьогодні є суттєві докази на підтримку ідеї, що тривалі напружені вправи пов'язані з тимчасовим пригніченням імунних функцій, які зазвичай відновлюються протягом 24 годин. Однак у ситуаціях інтенсивних тренувань відсутність достатнього відновлення між тренувальними та змагальними періодами може призвести до хронічного пригнічення імунних реакцій [3; 4].

Короткочасні вправи (інтенсивність від помірної до високої менше 60 хв) нині розглядаються як важливий допоміжний імунний фактор для стимуляції та ефективної взаємодії між різними і високоактивними підтипами імунних клітин та кровообігом і тканинами. Зокрема, кожний комплекс короткочасних та помірних фізичних вправ покращує антипатогенну активність. імуноглобулінів, протизапальних цитокінів, нейтрофілів, NK-клітин, цитотоксичних Т-клітин та незрілих В-клітин. За майже щоденних вправ ці гострі зміни діють через сумарний ефект, зумовлюючи посилення активності імунного захисту та метаболічного здоров'я.

Навпаки, високі навантаження під час тренувань, змагань і пов'язаний із ними фізіологічний, метаболічний і психологічний стрес зумовлюють тимчасове порушення імунітету, розвиток запалення, окислювальний стрес, пошкодження м'язів і підвищення ризику захворювань. Інтенсивні та тривалі вправи можуть викликати тимчасову імунну дисфункцію за рахунок зниження метаболічної здатності імунних клітин. Визначенні особливості полягають, перш за все, у відсутності конкретної імунологічної мішені, множинності порушень, що реєструються, у всіх ланках імунної системи: клітинній, гуморальній, секреторній. Вторинні імунодефіцити та глибокі метаболічні зрушення, супроводжуються вираженим дисбалансом нейроендокринної регуляції організму в цілому [5; 6].

Надмірні тренування, розумовий стрес або недостатнє відновлення створюють ризик виснаження імунних клітин та стресових реакцій гіпоталамо-гіпофізарної осі (ГГС), що викликають імунодепресію з негативним впливом на продуктивність або загальний стан здоров'я. Існують значні відмінності між аматорами та професійними спортсменами з погляду вроджених характеристик, стійкості до тренувань та додаткових стресів, що виникають через графіки змагань, інфекції, пов'язані з поїздками, та стрес. Імунологія вправ вивчає центральну роль імунітету у фізіології вправ та охоплює кілька дисциплін — від нейроендокринології до харчування та генетики з метою спрямовувати спортсменів до оптимальних та безпечних тренувань [7].

Мета дослідження — на основі аналізу та узагальнення наукової літератури визначити вплив фізичної активності на реалізацію реакцій імунної системи атлетів.

Матеріали дослідження. Матеріалами дослідження стали сучасні наукові публікації вітчизняних та зарубіжних авторів із проблем впливу фізичних навантажень різної інтенсивності на стан імунної системи у спортсменів.

Результати дослідження та їх обговорення. Вплив фізичних навантажень на стан природної резистентності організму. Активність фізичних вправ корелює зі збільшенням функціональних NK-клітин, нейтрофілів та макрофагів, які є компонентами вродженого імунітету. Вправи помірної інтенсивності залучають ці клітини до нових місць в організмі для кращої профілактики інфекцій. Однак після енергійних

вправ імунні клітини часто виводяться з кровотоку, і це узгоджується з гіпотезою «відкритого вікна». Ця релокалізація знижує абсолютну кількість імунних клітин у крові та у короткостроковій перспективі створює ризик інфекцій, включаючи інфекції верхніх дихальних шляхів (ІВДП). Нейтрофільні гранулоцити та макрофаги після вправ мають вирішальне значення для усунення інфекції, але, як було показано, зменшують кількість клітин у кровотоку, проте мігрують до інфікованих тканин, що передбачає наявність фокальної захисної реакції імунної системи, яка може компенсувати втрату у кровотоку [29].

Лейкоцитоз та змінений профіль цитокінів є двома відмінними рисами імунної відповіді на фізичні вправи. Кількість лейкоцитів подвоюється або потроюється протягом декількох хвилин після початку і продовжує збільшуватися вп'ятеро порівняно з нормою під час тривалих фізичних вправ [8; 9]. Викликане катехоламіном відділення молекул адгезії ICAM-1 також викликає вивільнення лімфоцитів зі стінок судин [10]. Спостерігається швидке зростання кількості нейтрофілів та зміна відносних пропорцій підтипів лімфоцитів зі зростанням NK-клітин.

Помірні фізичні навантаження активують функцію нейтрофільних гранулоцитів — основних клітин-ефектрів протиінфекційної природної резистентності організму людини. Нейтрофільні гранулоцити є найбільш численними лейкоцитами, основними ефекторами очищення від патогенів та першими лейкоцитами, задіяними під час інфекції. Підвищення цих клітин, зокрема, відіграє важливу роль у хронічному запаленні, і підвищена їх кількість часто сприймається як маркер хронічного запалення. Проте дослідження функціонального стану після значних фізичних навантажень показало, що поряд з активацією функції фагоцитуючих клітин відбувається значне зниження їхньої реакції на стимуляцію бактеріальними ліпополісахаридами, продуктивності реакцій, пов’язаних із респіраторним вибухом, та, як наслідок, пригнічення їх бактеріальної активності. Найбільш ефективно зменшується функціональна активність моноцитів як периферичної крові, так і тканинних макрофагів, що є однією з причин порушення механізмів міжклітинної кооперації у системі імунного захисту та високого ризику розвитку автоімунних реакцій. Також дані тенденції сприяють пригнічуванню активності регенерації м’язової тканини після значних фізичних впливів. Імунна система відіграє центральну роль у реалізації цих процесів, починаючи з вивільнення прозапальних факторів та міграції запальних клітин, а саме макрофагів та моноцитів класу M2, тому що регенерація тканин саме і регулюється місцевими запальними клітинами. Вони змінюють свою функцію з прозапальної на регуляторну, яка досі була найкраще описана для макрофагів [26]. Утручання у цей процес, наприклад протизапальними препаратами, можуть, таким чином, призвести до погіршення перебігу загоєння. Дані процеси можуть тривати протягом багатьох годин після вправ. Під час фізичного навантаження тимчасово збільшують кількість циркулюючих природних клітин-кілерів (NK), але після вправ кількість NK-клітин знижується до менше ніж половини нормального рівня протягом кількох годин; нормальні значення стані спокою зазвичай відновлюються протягом 24 годин. При цьому значні та тривалі фізичні навантаження призводять до пригнічення функцій клітин природної резистентності та зниженню антимікробного захисту організму спортсмена [11].

Вплив фізичних навантажень на адаптаційний імунітет. Адаптивна імунна відповідь, опосередкована лімфоцитами, а також вироблення антитіл також опосередковані фізичними вправами. Інтенсивні фізичні вправи, мабуть, пов'язані з різким збільшенням популяцій Т- і В-лімфоцитів, що передбачає певний стимул для імунної системи. Потім слідує тимчасове падіння числа лімфоцитів периферичної крові, явище, відоме як лімфопенія. Численні дослідження показали, що фізичні вправи надають як позитивний, так і негативний вплив на всі ланки специфічного імунітет. Ці ефекти залежать від характеру, інтенсивності та тривалості вправ, а також від фізичної підготовки та віку. Значні фізичні навантаження призводять до зміни функціональної активності ефекторних ланок адаптаційного імунітету. Функція та продукція Т-клітин знижуються через високі рівні гормонів стресу та викликані фізичними вправами змін у балансі про-/протизапальних цитокінів.

Детальне вивчення основних параметрів імунітету за тривалого навантаження протягом сезону змагання виявило такі зміни: формується імунна недостатність Т-клітинної ланки, що характеризується зниженням змісту Т-лімфоцитів, тенденцією до зменшення вмісту лімфоцитів. Було визначено зниження кількості

лімфоцитів, особливо $CD4^+$ Т-клітин із хелперною функцією на тлі підвищення природних кілеров $CD16^+$ та $CD8^+$. Підвищення кількості $CD16^+$ та збереження вмісту $CD22^+$, можливо, дає підстави розглядати ці тенденції як адаптивні реакції імунної системи на різні типи фізичного навантаження.

Фізичні навантаження мають значний вплив на функціональну активність Т-лімфоцитів у відповідь на специфічні стимулятори. Дані тенденції пов‘язані зі зниженням функції головних ефекторних клітин адаптаційного імунітету пропорційно обсягу єму навантаження. Імунодефіцит клітинної ланки, зниження вмісту CD3+-клітин, подальше зменшення вмісту CD4+ з інверсією імунорегуляторного індексу, посилення цитотоксичного потенціалу імунокомпетентних кліток призводять до порушення процесів міжклітинної кооперації [12; 13].

Однією з особливостей впливу фізичних навантажень на стан гуморальної ланки адаптаційного імунітету є зменшення концентрації імуноглобуліну (IG) основних класів периферичній крові спортсмена після значних навантажень. При цьому секреторна функція В-клітин за фізичних навантажень залишається незмінною. Передбачається наступний механізм розвитку зникнення імуноглобулінів із сироватки крові та слизових оболонок за інтенсивних фізичних та психоемоційних навантажень. Зміна кислотно-лужної рівноваги та підвищення температури тіла, що виникають за накопичення в крові проміжних продуктів обміну, стають пусковим механізмом активації ферментів, здатних фрагментувати до субодиниць складну структуру імуноглобулінів, що призводить до певного зниження їх рівня. Паралельно із цим відбувається посилений викид низки гормонів. Порушення обміну надає вплив на проникність біологічних мембран. Накопичення в крові надмірної кількості гормонів і продуктів обміну чинить вплив на проникність біологічних мембран в органах виділення: нирках, легенях, кишечнику.

У результаті цього значно збільшується екскреція білків плазми органами виділення, у тому числі їх фрагментів, із сечею, слиною і т. д., що призводить до подальшого зниження їх рівня в крові. Зникнення сироваткових імуноглобулінів та їхніх фрагментів відбувається в результаті пов'язання з численними додатковими рецепторами на лімфоцитах і нейтрофілах. У результаті цих реакцій відбувається підйом температури, різкі зміни змісту гормонів, кислотно-лужної рівноваги й активація протеаз [14; 27; 28].

Цитокіни (IL) також залежать від рівня навантаження. Наприклад, під час високоінтенсивних вправ секретуються прозапальні цитокіни, такі як інтерферон гамма (IFN-γ) та фактор некрозу пухлини альфа (TNF-α), які стимулюють шлях імунної відповіді. Однак регулярні та помірні вправи викликають секрецію протизапальних цитокінів, включаючи інтерлейкін-10 (IL-10), щоб допомогти контролювати імунну систему та зменшити хронічне запалення. Цитокіни вивільняються у відповідь на фізичне навантаження з багатьох джерел, включаючи імунні клітини в жировій тканині та печінці, хоча під час фізичного навантаження основним джерелом є м'язи [15]. Час та ступінь вивільнення цитокінів залежать від відносного балансу аеробних та силових вправ, тривалості та типу спорту. Зі збільшенням інтенсивності та тривалості вправ різноманітність та величина цитокінових реакцій також збільшуються. Деякі цитокіни, такі як TNF альфа та IL-1бета, з'являються у відповідь на інтенсивність вправ, зазвичай протягом однієї години, тоді як інші, такі як IL-8 та IL-17, з'являються за тривалості вправ [20]. Цитокіни функціонують локально в м'язах, координуючи міграцію та активацію клітин, фагоцитоз, презентацію антигену, адгезію ендотелію лімфоцитів та регулюючи баланс співвідношення Т-лімфоцитів — хелперів та супресорів (Th1/Th2). Ця функція має вирішальне значення для того, щоб запалення було спрямованим і пропорційним, і його мета полягає у тому, щоб уникнути пошкодження клітин. М'язова тканина виробляє понад 3 тис міокінів (цитокінів, що виробляються скелетними м'язами), які діють на локальні тканини, а деякі також відіграють ендокринну роль, забезпечуючи координацію метаболічної, серцево-судинної та неврологічної систем під час тривалих фізичних вправ [15; 19—21].

Помірні вправи включають початкове підвищення концентрації IL-6 у плазмі, що стимулює вивільнення IL-1Ra та IL-10, які мають протизапальну дію після вправ [14]. На відміну від реакцій на інфекцію за гострих вправ середньої інтенсивності немає попереднього чи супутнього збільшення чинника некрозу пухлини (TNF-α) [17]. Після припинення помірних вправ рівні цитокінів повертаються до норми

протягом кількох годин. Кортизол, імовірно, не відіграє головної ролі в гострій відповіді, викликаній вправами [18], з огляду на те, що метаболічний гомеостаз значною мірою підтримується під час вправ низької інтенсивності, за якого активність імунної відповіді знаходиться у стадії компенсації. Однак присутність IL-10 та IL-1ra після вправ створює протизапальне середовище, яке залишається достатнім для протидії вже існуючим прозапальним станам і, отже, має користь для здоров'я.

За припинення вправ вироблення прозапальних стимуляторів швидко зменшується. Концентрація секреторного IG-A знижується поряд із підвищенням рівнів сироваткових імуноглобулінів, а протизапальні цитокіни IL-10, IL-4 та IL-12 пригнічують імунну функцію. Оскільки кортизол та протизапальні механізми залишаються активними у період відновлення, баланс Th1/Th2 зміщується у бік протизапального напряму. Це призводить до зниження кількості та функції Т-клітин та NK-клітин, макрофагів, гранулоцитів та підвищення співвідношення нейтрофілів та лімфоцитів [22]. Міграція лейкоцитів у тканині також сприяє зниженню їх концентрації у крові. Нейтрофіли та макрофаги класу M1 накопичуються у м'язах навколо вогнищ ушкодження клітин та видаляють клітинний дебрис та метаболіти. Через 24 години після вправ і в наступні дні макрофаги генерації M2 у м'язах координують відновлення та регенерацію міоцитів із позаклітинного простору [23]. Імунні клітини мають високі метаболічні потреби під час проліферативної фази та фази секреції білка і знижену здатність у період відновлення.

Висновки. Таким чином, фізична активність давно визнана однією з фундацій здорового способу життя з численними перевагами, починаючи від покращення здоров'я серцево-судинної системи та закінчуючи поліпшенням настрою та психічного благополуччя. Однак однією з менш відомих, але не менш важливих переваг регулярних вправ є їхній позитивний вплив на імунну функцію. Окрім підтримки загального здоров'я, фізичні вправи є активаторами імунного захисту, найбільш важливого для підтримання сталого гомеостазу організму людини. Імунна відповідь загалом посилюється, коли людина займається помірними фізичними вправами; це сприяє збільшеній активності імунокомпетентних клітин, включаючи Т-клітини, природні клітини-кілери та ефекторних клітин природної резистентності, чия функція полягає у захисті організму від патогенів. Помірна фізична активність також допомагає знизити рівні запальних маркерів, включаючи IL-6/TNF-α, а також оптимізувати функції ефекторних клітин природної резистентності для забезпечення високоефективного імунної адаптації організму спортсмена до фізичних навантажень.

Література

1. Nieman DK, Wenz LM. The unstoppable link between physical activity and the host defense system. J Sport Health Sci. 2019 May;8(3):201–217. doi: 10.1016/j.jshs.2018.09.009.

2. Neves PRDS, Tenório TRDS, Lins TA, Muniz MTC, Pithon-Curi TC, Botero JP, et al. Acute effects of high- and low-intensity exercise training on white blood cell counts. J Exerc Sci Fit. 2015 Jun;13(1):24–28. doi: 10.1016/j.jesf.2014.11.003.

3. AShepard RJ. Evolving the discipline of exercise immunology. Exerc Immunol Rev. 2010;16:194–222.

4. Niemann DK, Mitmesser SH. Potential effects of nutrition on immune recovery after acute exercise: a metabolomic perspective. Nutrients. 2017;9 doi: 10.3390/nu9050513. pii: E513.

5. Nieman DK, Groen AJ, Pugachev A, Vacca G. Detecting functional strain in endurance athletes using proteomics. Proteomes. 2018;6 doi: 10.3390/proteomes6030033. pii: E33.

6. Campbell JP, Turner JE. Debunking the myth of exercise-induced immunosuppression: rethinking the impact of exercise on immunological health across the lifespan. Front Immunol. 2018;9:648. doi: 10.3389/fimmu.2018.00648.

7. Campbell JP, Turner JE. Debunking the myth of exercise-induced immunosuppression: rethinking the impact of exercise on immunological health across the lifespan. Front Immunol. 2018;9:648. doi: 10.3389/fimmu.2018.00648.

8. Peck A, Mellins ED. Plasticity of T cell phenotype and function: the case of T helper 17 cells. Immunol. 2010 Feb;129(2):147–53. doi: 10.1111/j.1365-2567.2009.03189.x. Epub 2009 Nov 17. PMID: 19922424; PMCID: PMC2814457.

9. Nieman DK, Wenz LM. The unstoppable link between physical activity and the host defense system. J Sport Health Sci. 2019 May;8(3):201–217. doi: 10.1016/j.jshs.2018.09.009.

10. Carlson SL, Beiting DJ, Kiani KA, Abell KM, McGillis JP. Catecholamines Reduce Lymphocyte Adhesion to Cytokine-Activated Endothelial Cells Brain Behavior Immun, 10 (1) (1996 March), pp. 55-67,

11. Осадча О. Вторинні імунодефіцитні стани у спортсменів. Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія, (1), 49–53. https://doi.org/10.32652/spmed.2024.1.49-53

12. Gleason M. Immune function in sport and exercise. J. Appl. Physiol. 2007;103:693–699. doi: 10.1152/japplphysiol.00008.2007.

13. Brolinson PG, Elliott D. Exercise and the immune system. Clin. Sports Med. 2007;26:311–319. doi: 10.1016/j.csm.2007.04.011.

14. Осадча О.І., Шматова О.О. Особливості формування муконазального імунітету у спортсменів-легкоатлетів під впливом фізичного навантаження в тренувальний період [Osoblyvosti formuvannya mukonazal′noho imunitetuusport·smeniv-lehkoatletiv pid vplyvom fizychnoho navantazhennya u trenuval′nyy period]. Спортивна медицина і фізична реабілітація. 2021;2:130–137.

15. Muñoz-Cánoves P, Scheele C, Pedersen BK, Serrano AL. Interleukin-6 myokine signaling in skeletal muscle: a double-edged sword? FEBS J. 2013 Sep;280(17):4131–48. doi: 10.1111/febs.12338.

16. Steensberg A, Fischer KP, Keller K, Møller K, Pedersen BK. IL-6 increases plasma IL-1ra, IL-10, and cortisol in humans. Am J Physiol Endocrinol Metab, 285(2) (August 2003), pp. E433–E437, 10.1152/ajpendo.00074.2003

17. Docherty S et al. The effects of exercise on cytokines: implications for musculoskeletal health: a review BMC Sports Sci Med Rehabil, 2022;14(1):5.

18. Yang R, Masters AR, Fortner KA, Champagne DP, Yanguas-Casás N, Silberger DJ, et al. IL-6 promotes differentiation of a subset of naïve CD8+ T cells into IL-21-producing B helper CD8+ T cells. J Exp Med. 2016 Oct 17;213(11):2281–2291. doi: 10.1084/jem.20160417.

19. Bertholdt L, Gudiksen A, Jessen H, Pilegaard H. Effects of skeletal muscle IL-6 on the regulation of liver and adipose tissue metabolism during fasting.Pflugers Arch, 2018;470(11):1597–1613.

20. Cerqueira E, Marinho DA, Neiva JP, Lourenço O. Inflammatory effects of high- and moderate-intensity exercise – a systematic review. Front Physiol, 2020;9(10):1550.

21. Lesnak JB, Berardi G, Sluka KA. Effects of regular exercise on the peripheral immune system for pain prevention and relief Neurobiol Pain, 2023;21(13):100126.

22. Peake JM, Neubauer O, Walsh NP, Simpson RJ. Immune system reconstitution following exercise. J Appl Physiol (1985). 2017 May 01; 122(5):1077–1087. doi: 10.1152/japplphysiol.00622.2016. Epub 2016 Dec 01. PMID: 27909225.

23. Walton RG, et al. Human skeletal muscle macrophage numbers increase after cycling exercise and are associated with adaptations that may promote growth. Sci Rep, 2019;9(1):969.

24. Palmovski Y, Boslau T, Ril I, Krueger K, Reichel T. Immunity management in sports – a practical guide for athletes and coaches. Dtsch z sportmed. 2019; 70:219–226. doi:10.5960/dzsm.2019.389.

25. Mountjoy M, et al. International Olympic Committee (IOC) consensus statement on relative energy deficits in sport (REDs) Br. J. Sports Med. 2023;57:1073–1097. doi: 10.1136/bjsports-2023-106994.

26. Gelert S, Jeko D, Gelert S, Jeko D. The role of the immune system in response to muscle damage. Dtsch Z Sportmed. 2019;70:242–249. doi:10.5960/dzsm.2019.390.

27. Buckingham, JC, Gillies, GE & Cowell, A-M. (eds.) (2007) Stress, Stress Hormones, and the Immune System. John Wiley & Sons, New York.

28. Cannon, JG & Kluger, MJ. (2003) Endogenous pyrogen activity in human plasma after exercise. Science 220, 617–619.

29. Sabzevari RR Effect of different training intensities on immune function and treatment of upper respiratory tract infections in athletes: a review. Sports Science for Health. 2024;20(2):415–426. doi: 10.1007/s11332-023-01110-7.

ORCID 0000-0001-5883-425X, osadchay1965@gmail.com
ORCID 0000-0001-5635-7840, bojarska55@gmail.com

Надійшла 02.05.2025
Прийнята 25.05.2025
Опублікована 10.09.2025