

# Вплив фізичних навантажень на стан імунологічної активності спортсменів залежно від інтенсивності їхнього навантаження

УДК 612.017:796

**О.І. Осадча<sup>1</sup>, О.О. Шматова<sup>1</sup>, Г.М. Боярська<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

<sup>2</sup>ПП «Клініка Медиком»

**Резюме.** Відомо, що фізичні навантаження можуть як негативно, так і позитивно впливати на імунну функцію та сприйнятливість до інфекційних захворювань. Помірні регулярні фізичні навантаження сприяють активації імунної реактивності особливо у відповідь на інфікування бактеріальними антигенами. Короткочасні значні фізичні навантаження викликають тимчасове пригнічення різних ланок імунної функції, а саме нейтрофільного респіраторного вибуху, синтезуючу активності лейкоцитів, зниження активності індукторів протизапальної відповіді й підвищення протизапальних, яке триває близько 3–24 годин після тренування. При тривалих періодах важких тренувань пригнічуються функції ефektorних ланок як вродженого, так й адаптивного імунітету. Пригнічення імунної функції після вправ найбільш виражене, коли вправи безперервні, тривалі (>1,5 годин), мають помірну або високу інтенсивність (максимальне поглинання O<sub>2</sub> 55–75%). *Мета статті* – визначити особливості впливу фізичних навантажень на стан імунологічної реактивності залежно від їх інтенсивності. *Матеріали й методи дослідження.* Матеріалами дослідження стали сучасні наукові публікації вітчизняних і зарубіжних авторів з проблем впливу фізичних навантажень різної інтенсивності на стан імунної системи в спортсменів. Причина підвищеної захворюваності на інфекції в спортсменів, швидше за все є багатofакторною: різні стресори (фізичні, психологічні, екологічні, харчові) можуть пригнічувати імунну функцію, і ці ефекти поряд із підвищеним впливом патогенів можуть зробити спортсмена більш сприйнятливим до інфекцій. Періоди інтенсивних тренувань, що тривають більше ніж один тиждень або більше, можуть призвести до тривалішої імунної дисфункції. При цьому сукупна дія невеликих змін імунних параметрів може поставити під загрозу стійкість до поширених захворювань, таких як гострі бактеріальні й вірусні респіраторні інфекції, особливо під час великих змагань. Це, очевидно, викликає занепокоєння через потенційний вплив на ефективність і продуктивність спортсменів. **Ключові слова:** спортсмени, фізичні навантаження, імунологічна реактивність, регуляція імунної відповіді, захворюваність.

**Influence of physical exercises on the state of immunological activities of athletes depending on the intensity of exercise**

**O.Y. Osadchaya<sup>1</sup>, O.O. Shmatova<sup>1</sup>, H.M. Boyarskaya<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>PP "Klinika Medicom"

**Abstract.** It is known that physical activity can have both positive and negative effects on immune function and susceptibility to infectious diseases. Moderate regular physical activity promotes the activation of immune reactivity, especially in response to infection with bacterial antigens. Short-term significant physical exertion causes a temporary suppression of various parts of the immune function, namely, the neutrophil respiratory burst, synthesizing activity of leukocytes, a decrease in the activity of inducers of the anti-inflammatory response, and an increase in the anti-inflammatory response, which lasts about 3–24 hours after exercise, depending on the condition. During long periods of heavy training, the functions of effector units of both innate and adaptive immunity are inhibited. The suppression of the immune function after exercise is most pronounced when the exercises are continuous, long (>1.5 hours), have a moderate or high intensity (maximum absorption of O<sub>2</sub> 55–75%). *The purpose of the research* is to determine the

peculiarities of the influence of physical exertion on the state of immunological reactivity depending on their intensity. *Research materials and methods.* The materials of the study were modern publications of domestic and foreign authors on the problems of the influence of physical exertion of different intensity on the state of the immune system in athletes. The reason for the increased incidence of infections in athletes is most likely multifactorial: various stressors (physical, psychological, environmental, food) can suppress immune function, and these effects, along with the increased influence of pathogens, can make the athlete more susceptible to infections. Periods of intense training lasting more than one week or more can lead to longer-term immune dysfunction. At the same time, the cumulative effect of small changes in immune parameters can threaten resistance to common diseases, such as acute bacterial and viral respiratory infections, especially during major competitions. This is obviously a cause for concern because of the potential impact on athletes' efficiency and performance.

**Keywords:** athletes, physical activity, immunological reactivity, regulation of the immune response, morbidity.

**Вступ.** Імунна система людини та її реакція на будь-який конкретний стимул надзвичайно складні й включають безліч фізичних елементів, типів клітин, гормонів та інтерактивних медіаторів. Ці реакції точно координують захист організму від патогенних агентів. На стійкість спортсмена до хвороби впливають численні чинники, у тому числі тип і термін фізичних навантажень які можуть сприяти як активації, так і пригніченню функціонального стану імунної системи. Прикладами таких факторів є генетично схильна імунна компетентність, недостатнє харчування, фізичні, психологічні й екологічні стреси та зміни в нормальному режимі сну [1].

Важкі графіки тренувань або змагання на витривалість, такі як марафони або їзда на велосипеді на довгі дистанції, є формами екстремального фізичного стресу і призводять до імунодепресії в спортсменів, що пов'язано з підвищеною сприйнятливістю до інфекцій, особливо інфекцій верхніх дихальних шляхів [2].

Помірні регулярні фізичні навантаження сприяють активації імунної реактивності особливо у відповідь на інфікування бактеріальними антигенами.

Тривалі періоди інтенсивних вправ викликають тимчасове пригнічення різних аспектів імунної функції (наприклад, нейтрофільний респіраторний вибух, проліферація лімфоцитів, презентація антигену моноцитів), яке зазвичай триває 3–24 години після тренування, залежно від інтенсивності та тривалості тренування. Дисфункція імунної функції після тренування найбільш виражена, коли вправи безперервні, тривалі (>1,5 год), мають середню або високу інтенсивність (55–75% максимального поглинання  $O_2$ ). Періоди інтенсивних тренувань (перенапруження) тривалістю 1 тиждень або більше можуть призвести до тривалішої імунної дисфункції.

Хоча елітні спортсмени клінічно не страждають на імунодефіцит, можливо, що комбіновані ефекти невеликих змін декількох імунних параметрів можуть поставити перед ризиком до поширених захворювань, наприклад, таких як інфекція верхніх дихальних шляхів.

У багатьох дослідженнях повідомлялося, що різні функції імунних клітин тимчасово порушуються після тривалого, безперервного важкого фізичного навантаження [3; 4; 5; 6] у спортсменів, що займаються інтенсивними періодами тренувань на витривалість. Наприклад, згідно з деякими опитуваннями, біль у горлі та грипоподібні симптоми частіше зустрічаються в спортсменів, ніж загалом у здорових осіб, які не відчувають таких впливів, і після інфікування захворювання може тривати в спортсменів довше [6; 7]. Це, очевидно, викликає занепокоєння в спортсменів, оскільки загально визнано, що навіть незначні інфекції можуть призвести до зниження працездатності й здатності витримувати важкі тренування (40). Більш серйозні вірусні інфекції може бути пов'язані з розвитком постійної втоми в атлетів [7]. Тим не менше існує дуже мало досліджень, які змогли продемонструвати прямий зв'язок між будь-яким конкретним порушенням імунної функції, викликаним фізичними вправами, і збільшенням частоти клінічно підтверджених інфекцій.

**Мета статті** – визначити особливості впливу фізичних навантажень на стан імунологічної реактивності залежно від їх інтенсивності.

**Матеріали й методи дослідження.** Матеріалами дослідження стали сучасні наукові публікації вітчизняних і зарубіжних авторів з проблем впливу фізичних навантажень різної інтенсивності на стан імунної системи в спортсменів.

**Отримані результати та їх обговорення.** Гострий вплив значних фізичних навантажень

на стан імунологічної реактивності в спортсменів. Значні фізичні навантаження в короткому періоді мають тимчасовий інгібуючий вплив на функціональну активність імунної системи спортсмена. У декількох дослідженнях, що включали спортсменів, які беруть участь у змаганнях із марафону й ультрамарафону, визнано збільшення частоти інфекцій протягом тижнів після навантаження. Наприклад, кілька досліджень описали значне підвищення (у два-шість разів) частоти суб'єктивних симптомів гострих респіраторних захворювань у спортсменів, які завершили забіги на довгі дистанції, порівняно з бігунами контрольної групи, які не брали участі в змаганнях. При цьому вказано, що підвищення випадків захворювань зберігалось декілька тижнів після змагання [8; 9; 10].

Значні фізичні навантаження в короткому періоді часу супроводжується реакціями, які в багатьох відношеннях схожі на ті, що викликані інфекцією, сепсисом або травмою [11]: спостерігається істотне збільшення числа циркулюючих лейкоцитів (в основному лімфоцитів і нейтрофілів), величина якого пов'язана як з інтенсивністю, так і з тривалістю вправ. Також наявне збільшення концентрації в плазмі різних речовин, включаючи запальні цитокіни, такі як TNF- $\alpha$ , макрофагальний запальний білок-1 та IL-1 $\beta$ ; протизапальні цитокіни IL-6, IL-10 та антагоніст рецептора IL-1 (IL-1ra); білки гострої фази, включаючи С-реактивний білок (CRP). Значне збільшення концентрації IL-6 у плазмі, що спостерігається під час вправ, низка дослідників пов'язує з вивільненням цього цитокіну з м'язових волокон при скороченні [12]. При цьому продукція IL-6 моноцитами та продукція IL-2 та IFN- $\gamma$  (але не IL-4) Т-лімфоцитами пригнічується під час і протягом декількох годин після значних короточасних фізичних навантажень [12; 13].

Одним із механізмів, що призводить до модифікації активності імунологічної реактивності, є збільшення концентрації в плазмі адреналіну, кортизолу, гормону росту і пролактину, які, як відомо, мають імуномодельючу дію. М'язовий IL-6 стимулює продукцію кортизолу через гіпоталамус або прямим шляхом стимулюючи звільнення його з кори наднирників, що зумовлює посилення імунодепресії при значних фізичних навантаженнях у короточасному періоді [14].

Відповідно до підвищення циркулюючих IL-6, IL-10 та IL-1ra, інтенсивні вправи знижують

відсоток Т-клітин 1 типу в кровотоку, тоді як відсоток Т-клітин 2 типу не змінюється [15]. І кортизол, й адреналін пригнічують вироблення цитокінів Т-клітинами 1 типу, тоді як IL-6 безпосередньо стимулює вироблення цитокінів Т-клітинами 2 типу. Іншою важливою дією IL-6 є те, що він пригнічує вироблення TNF- $\alpha$ , який є потужним активатором запалення [20]. Т-клітини 1 типу сприяють клітино-опосередкованим імунним реакціям, які передусім забезпечують захист від вірусів. Але значні фізичні навантаження в короткостроковому періоді підвищують продукцію IL-6, що виробляється м'язами, який є інгібітором запалення й функції Т-клітин 1 типу. Ці тенденції є зниженням захисту від вірусів у господаря й, таким чином, можуть бути поясненням, чому спортсмени в післязмагальному періоді мають збільшення випадків захворюваності на гострі респіраторні вірусні інфекції, тоді як порушення регуляторного балансу між Т-клітинами призводить до активації Т-клітин 2 типу, які через підвищення продукції імуноглобуліну Є формують ризик розвитку алергічних та аутоімунних захворювань у спортсменів [15].

Помірні фізичні навантаження активують функцію нейтрофільних гранулоцитів — основних клітин-ефекторів протиінфекційної природної резистентності організму людини. Проте дослідження функціонального стану після значних фізичних навантажень показало, що поряд з активацією функції фагоцитуючих клітин відбувається значне зниження їх реакції на стимуляцію бактеріальними ліпополісахаридами, продуктивності реакцій, пов'язаних із респіраторним вибухом і, як наслідок, пригнічення їх бактеріальної активності. Ці процеси можуть тривати протягом багатьох годин після вправ [16]. Під час фізичного навантаження гострі вправи 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 в стані спокою зазвичай відновлюються протягом 24 годин [17].

При цьому цитолітична активність NK-клітин значно зменшується відразу після навантаження, а якщо навантаження є тривалим і напруженим, зниження кількості NK-клітин і їх цитолітичної активності може розпочатися вже під час виконання фізичних вправ. Також

установлено зниження продуктивної активності цитокинів афільованих із циркулюючими клітинами-кілерами [6].

Таким чином, ці зміни в період раннього відновлення після фізичних вправ, мабуть, послаблюють потенційну імунну відповідь на патогени, як передбачається, створюють «відкрите вікно» для інфекції, являючи собою найбільш уразливий період для спортсмена з точки зору сприйнятливості до інфекції (4).

Хронічні зміни імунологічної реактивності при тривалих фізичних навантаженнях. Значні фізичні навантаження можуть також сприяти хронічним змінам у системі імунологічної реактивності. Визначено, що стан імунної системи організму спортсмена відновлюється через 3–24 години після значного навантаження.

Спортсмени зазвичай посилюють свої тренування протягом кількох днів чи тижнів на певних етапах сезону. Це може спричинити стан перенапруження, за якого продуктивність тимчасово знижується, але після періоду зниження навантаження тільки з легкими тренуваннями настає суперкомпенсація та підвищення продуктивності. Декілька досліджень останніх років вивчали вплив тривалих періодів посилених тренувань на імунну функцію в стані спокою та на імунноендокринні реакції при вправах на витривалість. Ці дослідження показують, що деякі показники функціонального стану лейкоцитів, включаючи окислювальний вибух нейтрофілів і моноцитів, співвідношення Т-лімфоцитів і синтез антитіл, а також цитотоксичну активність NK-клітин, чутливі до збільшення навантажень [5]. Навіть після відносно коротких періодів (1–3 тижні) інтенсивних тренувань спостерігалось виражене зниження функції нейтрофілів, проліферації лімфоцитів, s-IgA та циркулюючого числа Т-клітин, які продукують IFN- $\gamma$  [3; 6; 10].

Число циркулюючих і функціональні можливості лейкоцитів можуть бути знижені за тривалого періоду інтенсивних тренувань. Причина, імовірно, пов'язана з підвищенням рівня гормонів стресу під час вправ і потраплянням у кровоток менш зрілих лейкоцитів із кісткового мозку [19]. Зниження концентрації глютаміну в крові також запропоновано як можливу причину імунодепресії, пов'язаної з важкими тренуваннями, хоча докази цього менш переконливі [19]. Крім того, під час тривалих за інтенсивністю й навантаженням вправ збільшується вироблення активних форм кисню, деякі

функції імунних клітин можуть бути порушені надлишком вільних радикалів [18]. Під час вправ вплив патогенів, що знаходяться в повітрі, збільшується через більш високу частоту і глибину дихання. Збільшення проникності кишечника також може призвести до збільшення надходження ендотоксинів кишкових бактерій у кровотік, особливо під час тривалих вправ у спеку.

Таким чином, можна сказати, що короткочасні значні фізичні навантаження викликають тимчасове пригнічення різних ланок імунної функції, а саме нейтрофільного респіраторного вибуху, синтезуючу активність лейкоцитів, зниження активності індукторів протизапальної відповіді, і підвищення протизапальних, яке триває близько 3–24 години після тренування в залежності.

При тривалих періодах дуже важких тренувань пригнічуються функції ефекторних ланок як вродженого, так й адаптивного імунітету, але спортсмени не мають клінічного імунодефіциту. Іншими словами, викликана тривалими фізичними вправами імунна дисфункція не наражає спортсменів на небезпеку серйозного захворювання, але її може бути достатньо, щоб збільшити ризик зараження поширеними інфекціями, такими як ГРВІ або грип.

Пригнічення імунної функції після вправ найбільш виражене, коли вправи безперервні, тривалі (>1,5 годин), мають помірну або високу інтенсивність (максимальне поглинання  $O_2$  – 55–75%).

Причина підвищеної захворюваності на інфекції в спортсменів, швидше за все є багатofакторною: різні стресори (фізичні, психологічні, екологічні, харчові) можуть пригнічувати імунну функцію [19], ці ефекти поряд із підвищенням впливом патогенів можуть зробити спортсмена більш сприйнятливим до інфекцій.

Періоди інтенсивних тренувань, що тривають більш ніж один тиждень або більше, можуть призвести до тривалішої імунної дисфункції. При цьому сукупна дія невеликих змін імунних параметрів може поставити під загрозу стійкість до поширених захворювань, таких як гострі бактеріальні й вірусні респіраторні інфекції, особливо під час великих змагань. Це, очевидно, викликає занепокоєння через потенційний вплив на ефективність і продуктивність спортсменів.

**Перспекти подальших досліджень.** Сьогодні проведено сотні досліджень, що

підтверджують як гострий, так і хронічний вплив вправ на імунну систему, проте все ще дуже мало результатів, які змогли показати прямий зв'язок між викликаню вправами імунною

депресією та збільшенням числа підтверджених захворювань у спортсменів. Це важливе питання, яке необхідно розглянути в майбутніх дослідженнях.

#### Література

1. Jeukendrup AE, Gleeson M. Sports Nutrition: An Introduction to Energy Production and Performance. 2nd. Human Kinetics; Champaign, IL, USA; 2010.
2. Gleeson M, Nieman DC, Pedersen BK. Exercise, Nutrition, and Immune Function. J. Sports Sci. 2004;22:115–125. doi: 10.1080/0264041031000140590.3. Mackinnon LT. Advances in Exercise and Immunology. Champaign, IL: Human Kinetics; 1999.
3. Nieman DC. Exercise, infection and immunity. Int J Sports Med 15: S131–S141, 1994.
4. Футорний СМ, Осадча ОІ, Маслоva ОВ, Шматова ОО. Особливості розвитку імунного дистресу у спортсменів у динаміці тренувального процесу [Osoblyvosti rozvytku imunnoho dystresu u sport smeniv u dynamitsi trenувального protsesu]. Теорія і методика фізичного виховання і спорту. 2016;4:61–65.
5. Осадча ОІ, Футорний СМ, Імас ЄВ, Шматова ОО, Маслоva ОВ. Особливості імунологічної адаптації під впливом значних фізичних навантажень [Osoblyvosti imunolohichnoyi adaptatsiyi pid vplyvom znachnykh fizychnykh navantazhenij]. У: Науковий часопис Національного педуніверситету ім. М.П. Драгоманова. Серія № 15 «Науково-педагогічні проблеми фізичної культури/Фізична культура і спорт. 2018;10(104)18:93-98.
6. Ronsen O, Pedersen BK, Oritsland TR, Bahr R, Kjeldsen-Kragh J. Leukocyte counts and lymphocyte responsiveness associated with repeated bouts of strenuous endurance exercise. J Appl Physiol. 2001;91:425-434.
7. Friman G, Ilback NG. Acute infection: metabolic responses, effects on performance, interaction with exercise, and myocarditis. Int J Sports Med 19: S172-S182, 1998.
8. Nieman DC, Johansen LM, Lee JW, Arabatzis K. Infectious episodes in runners before and after the Los Angeles Marathon. J Sports Med Phys Fitness 1990;30:316-328.
9. Ekelund U, Dahlin, Kentucky, Tharp J, Lee, I.M. Physical activity and mortality: what is the dose response and how large is the effect? Br. J. Sports. Honey. 2020;54:1125-1126.
10. Tylyutka, A.; Moravin, B.; Gramatsky, A.; Zembron-Lackni, A. Lifestyle exercise attenuates immunosenescence; analysis by flow cytometry. BMK Geriatrician. 2021;21:200.
11. Jones A.V., Davison G. Physical exercise, immunity and disease. Muscle Exercise Physiol. 2019;15:317-44.
12. . Khansari D., Murgu A. Effects of stress on the immune system // Immunology today. 2000;11(5):170-175.
13. MacKinnon LT. Special feature for the Olympics (effect of exercise on the immune system. Immunol Cell Biol. 2000;78(5):444-451,500-509.
14. Khansari D, Murgu A. Effects of stress on the immune system. У: Immunology today. 2000;11(5):170-175.
15. Kogan OS, Savelyeva VV. Features of the immune resistance of the body of representatives of cyclic sports in different periods of the training process. Theor. and practical. physical education. 2009;1:31-36.
16. Gleeson M, Nieman DC, Pedersen BK. Exercise, nutrition and immune function. J Sports Sci. 2004;22:115-125. Invited Review 698 Immune function in sport and exercise j Appl Physiol • VOL 103 • AUGUST 2007. www.jap.org Downloaded from journals.physiology.org/journal/jappl (188.163.083.167) on February 11, 2025.
17. Woods J, Lu Q, Ceddia MA, Lowder T. Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: exercise-induced modulation of macrophage function. Immunol Cell Biol. 2000;78:545-553. Invited Review immune function in sport and exercise 699 j appl physiol • vol 103 • august 2007.
18. Full AR, Nasir B, Hak IYu, Kim SJ. Oxidative stress, consequences, and ROS-mediated cell signaling in rheumatoid arthritis. Chemical biological interaction. 2017;281:121-136.
19. Jiao Y, Wang Y, Guo S, Wang G. Glutathione peroxidase as a tumor target. Oncotarget. 2017;8:80093-80102.
20. Cotelli P. Tumor necrotic factor- $\alpha$  mediated changes in tissue protein turnover in cancer cachexia model. J. Clin. Invest. 2003;92:2783-2789.

osadchay1965@gmail.com  
R\_shmatov@ukr.net

Надійшла 18.01.2025  
Прийнята 03.02.2025  
Опублікована 28.02.2025