CZU: 613.72:612.017.1 **https://doi.org/10.59295/sum1(191)2026_11**

ACTIVITATEA ȘI INACTIVITATEA FIZICĂ CA FACTORI CARE INFLUENȚEAZĂ STATUTUL IMUN

Olga BULAT,
Universitatea de Stat din Moldova

În articol se analizează impactul activității fizice și al sedentarismului asupra homeostaziei sistemului imun. Rezultatele indică faptul că efortul fizic de intensitate moderată exercită un efect imunomodulator, optimizând dinamica leucocitară (limfocite, neutrofile, celule NK) și, stimulând secreția miokinelor antiinflamatorii (IL-13). Totodată, activitatea fizică reglează axa hipotalamo-hipofizo-adrenală, determinând reducerea nivelului de cortizol și atenuarea imunodeficiențelor induse de stresul psihofiziologic. Adaptările acute, precum leucocitoza tranzitorie, sunt demonstrate a fi mecanisme esențiale pentru menținerea homeostaziei și regenerarea tisulară. Iar inactivitatea fizică prelungită (hipodinamia) este definită ca un factor de stres proinflamator sistemic, corelat cu suprareglarea citokinelor proinflamatorii (TNF-α, IL-6, IFN-γ) și activarea unor căi de semnalizare patologice în populațiile de celule T (CD4+ și CD8+). Comportamentul sedentar favorizează dezvoltarea obezității sarcopenice, alterarea microbiomului și creșterea vulnerabilității la infecții virale sau bacteriene, ca urmare a compromiterii memoriei imunologice și a funcției celulelor NK.

Cuvinte-cheie: *activitate fizică, inactivitate fizică, sedentarism, hipodinamie, celule imune, limfocite, leucocite, axa hipotalamo-hipofizo-adrenală.*

PHYSICAL ACTIVITY AND INACTIVITY AS FACTORS THAT INFLUENCE IMMUNE STATUS

The article analyzes the impact of physical activity and sedentary lifestyle on the homeostasis of the immune system. The results indicate that moderate intensity physical exercise exerts an immunomodulatory effect, optimizing leukocyte dynamics (lymphocytes, neutrophils, NK cells) and stimulating the secretion of anti-inflammatory myokines (IL-13). At the same time, physical activity regulates the hypothalamic-pituitary-adrenal axis, causing a reduction in cortisol levels and attenuation of immunodeficiencies induced by psychophysiological stress. Acute adaptations, such as transient leukocytosis, are demonstrated to be essential mechanisms for maintaining homeostasis and tissue regeneration. Furthermore, prolonged physical inactivity (hypodynamia) is defined as a systemic proinflammatory stress factor, correlated with the upregulation of proinflammatory cytokines (TNF-α, IL-6, IFN-γ) and the activation of pathological signaling pathways in T-cell populations (CD4+ and CD8+). Sedentary behavior favors the development of sarcopenic obesity, alteration of the microbiome, and increased vulnerability to viral or bacterial infections, as a result of compromising immunological memory and NK cell function.

Keywords: *physical activity, physical inactivity, sedentarism, hypodynamia, immune cells, lymphocytes, leukocytes, hypothalamic-pituitary-adrenal axis.*

Introducere

Sistemul imun integru, precum și statutul imun, sunt influențate atât de factorii interni ai organismului, cât și de cei externi, dintre care fac parte și activitatea și inactivitatea fizică. Deși termenul „activitate fizică” este adesea utilizat ca sinonim pentru „exercițiu fizic”, aceștia sunt termeni diferiți. Activitatea fizică este orice mișcare corporală produsă prin contracția mușchilor scheletici care crește consumul de energie la momentul inițial, pe când exercițiile fizice sunt un tip de activitate fizică planificată și efectuată cu scopul de a îmbunătăți starea fizică. Inactivitatea fizică sau altfel numită hipodinamia sau sedentarismul, cuprinde perioade de lunga-durată de imobilitate (ortostatism prelungit), cu un consum energetic redus în timpul zilei, cum ar fi activitățile: vizionarea televizorului, lucrul la calculator, cititul sau condusul autoturismelor. Comportamentul sedentar a devenit tot mai răspândit la nivel global din cauza stilului de viață modern, în special în rândul copiilor și adulților, unde schimbările în modelele de muncă și școală au dus la o creștere semnificativă a timpului zilnic petrecut pe scaun.

Metode şi materiale aplicate

A fost realizată o căutare sistematică în bazele de date electronice Web of Science, PubMed și Scopus și altele, vizând articole publicate în ultimii 10 ani. Criteriile de incluziune au vizat articole originale și studii de caz ce analizează corelația dintre dinamica statutului imun și nivelurile variabile de efort fizic sau sedentarism.

Rezultate și discuții

Răspunsul imun la exercițiile fizice se caracterizează prin răspuns specific la tipul de stimul pe care îl oferă exercițiile fizice și odată cu modificările funcției imune, se observă și modificări moleculare, celulare și tisulare. Această diferență de răspuns este legată de nivelul de stres pe care îl generează antrenamentul, de starea fizică a individului și de regularitatea stimulilor. Cunoscând, că exercițiile fizice induc inflamația (locală și sistemică), precum și repararea țesuturilor după traume, adaptările fiziologice rezultate în urma antrenamentului pot fi, de asemenea, clasificate ca acute și cronice. Răspunsul acut ajustează starea de homeostazie, pentru repararea țesuturilor imediat după una sau mai multe sesiuni de exerciții fizice. În plus, poate fi subdivizată în imediată sau tardivă. Adaptările acute imediate sunt cele care apar la câteva minute după terminarea exercițiului, cum ar fi intensificarea ritmului cardiac, creșterea tensiunii arteriale și temperaturii corpului. Totuși, aceste valori se pot modifica în funcție de tipul de exercițiu, static sau dinamic. De exemplu, în exercițiile statice, dereglarea fluxului sanguin determină acumularea metaboliților produși în timpul contracției, activând chemoreceptorii musculari, care promovează o creștere semnificativă a activității nervoase simpatice, provocând intensificarea ritmului cardiac, cu o scădere a volumului sistolic și o mărire nesemnificativă a debitului cardiac. Pe de altă parte, tensiunea arterială tinde să crească, datorită sporirii rezistenței vasculare periferice. În exercițiile dinamice, există o activitate nervoasă simpatică ridicată, ceea ce determină o majorare a debitului cardiac, a ritmului cardiac și a debitul sistolic. Eliberarea de metaboliți musculari provoacă vasodilatație în mușchii activi, ceea ce scade rezistența vasculară periferică. În exercițiile dinamice, există o activitate nervoasă simpatică ridicată, ceea ce determină o creștere a debitului cardiac, a ritmului cardiac și a volum sistolic. Eliberarea de metaboliți musculari provoacă vasodilatație în mușchii activi, ceea ce scade rezistența vasculară periferică. În timpul exercițiului, celulele NK (natural killer) și celulele T sunt recrutate în fluxul sanguin, pe lângă o creștere a cantității de neutrofile și monocite circulante. Această leucocitoză apare imediat după exerciții și persistă timp de trei ore după finalizare. Numărul de limfocite T CD3 și CD4 arată o creștere similară între exercițiile aerobice și cele de lungă durată. Totuși, în perioada post-exercițiu, după trei ore de odihnă, numărul de limfocite T CD3 și CD4 din exercițiile aerobice a fost sub limita de jos, caracterizând limfocitopenia. Numărul de celule circulante CD3, CD16+, CD56+ și NK a crescut după exercițiile aerobice, mai puțin în exercițiile de lungă durată și mai esențial în exercițiile de rezistență. Cu toate acestea, concentrația celulelor imune a revenit la valorile inițiale cu trei ore mai târziu. Exercițiile fizice au indus modificări nesemnificative ale numărului de celule B (CD19+), care au crescut doar la nivelul maxim de efort, imediat după exerciții fizice, și o creștere după trei ore de exerciții de rezistență. Limfocitopenia după terminarea exercițiilor fizice poate fi drept cauză a reducerii nivelului de adrenalină, urmată de o creștere a concentrației de cortizol și hormonului de creștere, ceea ce duce la o redistribuire a leucocitelor și limfocitelor, prezentând astfel un efect imunosupresor. Pe de altă parte, creșterea numărului de celule NK se datorează secreției mai mari de catecolamine, în special epinefrină, și eliberării unor factori ai sistemului complement, cum ar fi interferonii (IFN-1), interleukinele (IL-2) și hormonul beta-endorfină ca adjuvanți în acest proces. După trei ore de exerciții fizice, celulele NK au revenit la valorile inițiale, luând în considerare eliberarea de prostaglandine de către neutrofile și macrofage împreună cu factorii hormonali precum cortizolul, care are un efect imunosupresor. Adaptările cronice ale sistemului imun la antrenament moderat duc la creșterea de limfocite T (CD28+, CD4+), precum și cel a celulelor producătoare de IFN-γ (Th1), în timp ce celulele T, responsabile de producerea de IL-4 (Th2), nu au suferit modificări semnificative [2, 4, 8].

Activitatea fizică implică mai multe mecanisme de influență asupra sistemului imun, circulația celulelor imune și a citokinelor fiind mecanismul principal. Exercițiile fizice de intensitate moderată stimulează transportul limfocitelor și neutrofilelor către centrele de control imun, promovând astfel secreția optimă

de citokine. Pe lângă circulația celulelor imune, se evidențiază și efectul pozitiv al activității fizice asupra reglării hormonale: exercițiile fizice reduc nivelul de cortizol și atenuează imunodeficiențele legate de stres. Cu toate acestea, activitatea prelungită și excesivă fără recuperare provoacă o scădere pe termen scurt a funcției de apărare, ceea ce poate avea un impact extrem de negativ asupra sănătății [17].

Sistemul hipotalamo-hipofizo-adrenal și sistemul nervos simpatic reglează răspunsul la factorii de stres, stres psihologic și activitatea fizică. Răspunsul sistemic la stres este inițiat prin secreția hormonului de eliberare a corticotropinei (CRH - Corticotropin-Releasing Hormone) de către hipotalamus. Hormonul de eliberare a corticotropinei stimulează glanda pituitară să secrete hormonul adrenocorticotrop în circulația sistemică. La rândul său, secreția de hormon adrenocorticotrop stimulează glandele suprarenale să elibereze catecolamine și glucocorticoizi, factori care induc colectiv eliberarea de citokine pro- sau antiinflamatorii. Mecanismele de feedback negativ limitează procesul de inflamație. În schimb, stresul persistent duce la disreglarea axei hipotalamo-hipofizo-adrenală, cu perturbări endocrine, rezultate în stări de maladii, de exemplu depresie. Perturbările hormonilor neuroendocrini legate de stres dezechilibrează modularea imună și duc la o stare proinflamatorie. Acționând ca un factor de stres intermitent, activitatea fizică își exercită efectele neuroprotectoare centrale și periferice prin diverse căi. În timpul activității fizice, contracțiile musculare induc eliberarea de miokine. Acești factori cresc expresia coactivatorului 1-alfa al receptorului gamma activat de proliferatorul peroxizomului (PGC-1α) și scad expresia citokinelor proinflamatorii la nivel molecular. Mai mult, activitatea fizică modulează direct nivelul și funcția neurotransmițătorilor (de exemplu, funcția noradrenergică), ceea ce este important pentru promovarea unui mediu pro- sau antiinflamator. În cele din urmă, activitatea fizică crește nivelurile factorilor neurotrofici hipocampici (de exemplu, BDNF) pentru a ameliora sănătatea hipocampului și, prin urmare, promovează reglarea hormonilor de stres (de exemplu, reglarea cortizolului) [12].

Activitatea fizică are efecte benefice atât directe, cât și indirecte asupra sistemului imun. Mușchiul scheletic a fost descris ca un organ de reglare a sistemului imunitar, deoarece generează o gamă de proteine, cum ar fi miokinele, care au un efect antiinflamator: creșterea miokinelor antiinflamatorii și interleukinei IL-13. Activitatea fizică are, de asemenea, un efect indirect asupra sistemului imun prin promovarea unui microbiom sănătos, iar acest lucru s-a dovedit prin creșterea componentelor competenței imune. În schimb, sedentarismul are o serie de efecte adverse asupra sistemului imun. Expunerea pe termen lung la inactivitate fizică și hipokinezie este un factor de stres puternic care provoacă diverse schimbări în starea fiziologică, provocând procese patologice, inclusiv starea imunopatologică a sistemului imun. Sedentarismul favorizează un microbiom inflamator, crește numărul citokinelor proinflamatorii circulante și afectează răspunsul miokinic antiinflamator. Asocierea dintre sedentarism și inflamația de grad scăzut rămâne chiar și atunci când se iau în considerare factorii de confuzie, cum ar fi activitatea fizică intermitentă, indicele de masă corporală, hiperglicemia și obezitatea. Sarcopenia, sau pierderea progresivă a masei musculare, a forței și a puterii, a fost inițial asociată cu îmbătrânirea, dar este din ce în ce mai mult asociată cu sedentarismul. Datorită prevalenței ridicate, sedentarismul și obezitatea prezintă adesea o corelație directă, conducând la obezitate sarcopenică, ceea ce face ca beneficiile exercițiilor fizice legate de imunitate să fie mai dificil de restabilit. Factorii psihosociali par să interacționeze în mare măsură indirect cu sistemul imunitar prin intermediul sistemelor autonom și neurohormonal [5, 15].

Inactivitatea fizică are drept consecință dezvoltarea procesului proinflamator prin suprareglarea atât a celulelor T CD4+, cât și a celor CD8+. Inactivitatea a fost corelată cu o semnalizare mai mare a TNF-α, IL2/STAT5, interferon-γ (IFN-γ) și IL6/JAK/STAT3, și o activare mai mare a mai multor citokine canonice în celulele T CD4+, inclusiv TNF-α, IL1 α /β, IFN-γ, IL2, IL17A și altele. În celulele T CD8+, această abordare a prezis o activare mai mare a TNF-α și IL5 la inactivitatea fizică [11, 13].

Studiul realizat de O›Donnell și echipa sa, bazat pe modele de microgravitație simulată, respectiv repausul la pat în poziție Trendelenburg la om și suspendarea membrelor posterioare (HU) la rozătoare, a evidențiat o diminuare a reactivității celulelor medulare la factorii de stimulare. Această cercetare demonstrează că atenuarea acestor răspunsuri perturbă procesele de diferențiere și activare a leucocitelor în urma stimulării antigenice. Analizele citometrice în flux au arătat o reducere semnificativă a celulelor B (CD19+) splenice și a celulelor NK1.1+ la șoarecii expuși la HU, cu o creștere concomitentă a celulelor T. Aceste

rezultate sugerează că expunerea la HU crește activitatea sistemului nervos simpatic și induce modificări ale subpopulației de limfocite care pot contribui la dereglarea imunității observată la șoarecii expuși la HU și, mai important, pot predispune gazda altfel sănătoasă la o capacitate redusă ulterioară de a rezista la infecții [9].

Alte studii au arătat că descărcarea membrelor posterioare are ca rezultat incapacitatea de a genera răspunsuri de memorie pe termen lung în rândul celulelor T, ducând la o pierdere a rezistenței la agenții patogeni bacterieni. Studiile privind repausul la pat la oameni au raportat, de asemenea, creșteri ale inflamației sistemice, modificări ale distribuției subseturilor de leucocite, producției de IFN-γ a celulelor T și funcțiilor celulelor NK. Se crede că aceste tulburări ale sistemului imunitar contribuie la dezvoltarea infecțiilor tractului urinar și la reactivarea herpesvirusurilor latente la astronauți în timpul misiunilor sau la reactivarea ușoară a virusului Epstein-Barr și a virusului varicelo-zosterian în timpul perioadelor de lungă durată de inactivitate fizică. La fel, persoanele obeze, care sunt adesea și inactive fizic prezintă răspunsuri slabe ale anticorpilor la vaccinare și o proliferare a limfocitelor în urma stimulării mitogene. Aceste efecte imunologice duc probabil la un risc mai mare de infecții virale și bacteriene și la spitalizări mai lungi din cauza complicațiilor mai frecvente și mai prelungite după intervenția chirurgicală [3, 6, 11].

La fel și în timpul carantinei induse pe perioada Covid-19, izolarea a dus la hipodinamie ce a avut ca consecințe: creșterea greutății corporale, majorarea citokinelor, IL-6, TNF-α și proteinei C reactive (CRP) și scăderea neutrofilelor, eozinofilelor, bazofilelor, monocitelor, limfocitelor, celulelor NK, CD3+, CD4+, CD8+ și CD19+ [1, 7, 10, 14, 16].

Concluzii

1. Activitatea fizică de intensitate moderată acționează ca un imunomodulator pozitiv, optimizând circulația limfocitelor, neutrofilelor și a celulelor NK, concomitent cu stimularea secreției de miokine antiinflamatorii (IL-13) și reglarea axei hipotalamo-hipofizo-adrenale pentru reducerea cortizolului. Aceste mecanisme reduc imunodeficiențele legate de stres și promovează repararea țesuturilor prin adaptări acute și cronice.
2. Inactivitatea fizică prelungită (hipodinamia) declanșează un status proinflamator sistemic, caracterizat prin suprareglarea citokinelor TNF-α, IL-6, IL-17 α și IFN-γ, precum și prin activarea căilor de semnalizare în celulele T CD4+ și CD8+. Acest comportament sedentar induce obezitatea, modificarea microbiomului și pierderea rezistenței la agenți patogeni bacterieni sau virali, favorizând reactivarea virusurilor latente.
3. Echilibrul dintre stimulul fizic și recuperare este critic, deoarece efortul excesiv fără refacere poate provoca o scădere tranzitorie a funcției de apărare (limfocitopenie post-exercițiu). Astfel, menținerea unui nivel optim de activitate fizică reprezintă o strategie esențială pentru prevenirea proceselor imunopatologice și menținerea competenței imunitare.

Bibliografie:

1. BLAND, JS. The Long Haul of COVID-19 Recovery: Immune Rejuvenation versus Immune In: *Support. Integr Med (Encinitas*). 2020. nr. 19(6), p. 18-22. PMID: 33488306.
2. BRUNA, B. et al. Relationship between exercise and the immune system. In: *Arq Asma Alerg Imunol*. 2021. vol. 5, nr 4. ISSN 2764-6335
3. DAMIOT, A. et al. Immunological Implications of Physical Inactivity among Older Adults during the COVID-19 Pandemic. In: *Gerontology*. 2020, nr. 6(5), p. 431-438. doi: 10.1159/000509216.
4. GUIMARÃES, T. T., BRITO DOS SANTOS, H. M., MATTOS SANCTOS, R. T. Physical inactivity, chronic diseases, immunity and covid-19. In: *Rev Bras Med Esporte*. 2020. Vol. 26(5), p. 378-381. DOI: 10.1590/1517-8692202026052019_0040
5. HUSTON P. A. Sedentary and Unhealthy Lifestyle Fuels Chronic Disease Progression by Changing Interstitial Cell Behavior: A Network Analysis. In: *Front Physiol*. 2022. nr. 13. doi: 10.3389/fphys.2022.904107.
6. JEANDEL, J. et al. Spaceflight-Associated Immune System Modifications. In Beyond LEO - Human Health Issues for Deep Space Exploration. In. *IntechOpen*. 2019. https://doi.org/10.5772/intechopen.88880
7. MIRONOVA, A. Physical inactivity hidden risk of non-communicable diseases. In: *Восточно-европейский научный журнал*. 2021. nr. 10-3 (74), p. 5-8. ISSN 2782-1994

8. NIEMAN, DC., WENTZ, LM. The compelling link between physical activity and the body›s defense system. In: *J Sport Health Sci*. 2019. nr. 8(3), p. 201-217. doi: 10.1016/j.jshs.2018.09.009
9. O'DONNELL, PM. et al. Effects of exposure of mice to hindlimb unloading on leukocyte subsets and sympathetic nervous system activity. In: *Stress*. 2009. nr. 12(1), p. 82-88. doi: 10.1080/10253890802049269.
10. PARK, SK., PARK, S., JEE, YS. Effects of physical inactivity behavior during COVID-19 pandemic on physical fitness, body composition, inflammatory cytokine, and immunocytes in older adults: A retrospective and prospective study. In: *Physiol Behav.* 2024. nr. 1. doi: 10.1016/j.physbeh.2024.114640.
11. PATTERSON, SL. et al. Physical inactivity exacerbates pathologic inflammatory signaling at the single cell level in patients with systemic lupus. In: *EBioMedicine*. 2024. nr. 110: doi: 10.1016/j.ebiom.2024.105432.
12. PHILLIPS, C., FAHIM, I. A. Immune and Neuroprotective Effects of Physical Activity on the Brain in Depression. In: *Front Neurosci*. 2018. nr. 12. doi: 10.3389/fnins.2018.00498.
13. PONOMAREV, SA. et al. The impact of short-term confinement on human innate immunity. In: *Sci Rep.* 2022. nr. 12(1).: 10.1038/s41598-022-12380-5.
14. SALLIS, R. et al. Physical inactivity is associated with a higher risk for severe COVID-19 outcomes: a study in 48 440 adult patients. In: *Br J Sports Med*. 2021. nr. 55(19), p. 1099-1105. doi: 10.1136/bjsports-2021-104080.
15. SHAO, T. et al. Physical Activity and Nutritional Influence on Immune Function: An Important Strategy to Improve Immunity and Health Status. In*: Front Physiol*. 2021. nr. 12. doi: 10.3389/fphys.2021.751374.
16. THIRUPATHI, A. et al. Exercise and COVID-19: exercise intensity reassures immunological benefits of post-COVID-19 condition. In: *Front. Physiol*. 2023. nr.14. doi: 10.3389/fphys.2023.1036925.
17. ХАНФЕРЬЯН, Р.А. и др. Значение физической активности в регуляции противовирусного иммунитета. В: *Спорт Мед: наук практ*. 2020. Т. 10, nr. 3. с. 27–39. https://doi.org/10.47529/2223-2524.2020.3.27

Date despre autor:
***Olga BULAT*,** doctor în ştiinţe biologice, cercetător ştiinţific superior, Institutul de Fiziologie şi Sanocreatologie al Universităţii de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0002-9667-6747
Email: bulatolga@mail.ru

Prezentat: 01.03.2026
Recenzat: 30.03.2026
Acceptat spre publicare: 20.05.2026