

A fizioterápiás kezelések hatása az immunrendszerre

Bender Tamás dr.^{ORCID} ■ Nagy György dr.

Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Reumatológiai és Immunológiai Klinika, Budapest

A szerzők áttekintést adnak a fizioterápiás kezelések immunválaszt befolyásoló hatásairól. A fizioterápia fájdalomcsillapító és gyulladáscsökkentő mechanizmusában döntő szerepet játszik az immunmoduláció. A vázizomzat szekréciós szerv, amely mozgás hatására miokineket választ ki. Az egyik legismertebb ezek közül az irizin, amely fontos szerepet játszik az oxidatív stressz gátlásában, a szisztémás gyulladással kapcsolatos reakciók csökkentésében és a neuroprotekción, emellett pozitív hatást gyakorol a szabályozó T-sejtek funkcióira, modulálja az immunsejteket, növeli a gyulladáscsökkentő citokinek termelését. A legfontosabb fizioterápiás kezelés a gyógytorna, amelyről a legtöbb bizonyíték áll rendelkezésünkre. A gyógytorna jelentős szerepet játszik az autoimmun betegségek klinikai állapotának javításában. A rendszeres fizikai aktivitás kedvező tumorimmunológiai hatásokkal bír, amelyek nem járnak káros mellékhatásokkal. Emellett a gyógytorna fokozza a daganatellenes immunválaszban kulcsszerepet betöltő természetes ölüsejtek számát. A masszáz, valamint számos elektroterápiás és fotobiomodulációs kezelés is befolyásolja az immunválaszt. Radon- és kénes fürdőkúrákat követően a citokinszintek és egyéb gyulladással kapcsolatos biomarkerek statisztikailag szignifikáns csökkenését írták le. A teljestest-krioterápia gyulladáscsökkentő hatása feltehetően az interleukin-6 és a tumor nekrosis faktor-alfa szintjének mérséklődésén keresztül érvényesül. A fizioterápiás kezelések immunválaszra gyakorolt hatásainak ismerete fontos a gyulladással kapcsolatos betegségek kezelési stratégiájának megválasztásakor. *Orv Hetil.* 2026; 176(17): 651–660.

Kulcsszavak: fizioterápia, immunválasz, gyógytorna

The effect of physiotherapy treatments on the immune system

The authors provide an overview of the effects of physiotherapy on the immune response. Immunomodulation plays a decisive role in the analgesic and anti-inflammatory mechanisms underlying physiotherapy. Exercise is the most prominent physiotherapy treatment, for which the most evidence exists. The skeletal muscle is a secretory organ that releases myokines in response to movement. One of the best-known of these is irisin, a movement-induced myokine. Irisin plays an important role in inhibiting oxidative stress, reducing systemic inflammatory responses, and providing neuroprotection. It also has a positive effect on the functions of regulatory T cells, modulates immune cells, and increases the production of anti-inflammatory cytokines. Physiotherapy plays a significant role in improving the clinical condition of patients with autoimmune diseases. The beneficial tumor-immunological effects of regular physical activity are not accompanied by harmful side effects. Physiotherapy increases the number of natural killer cells, which play an important role in the defense against tumors. Massage, electrotherapy, and photomodulation treatments also affect the immune response. Following radon and sulfur bath treatments, statistically significant reductions in cytokine levels and other inflammatory biomarkers were observed. The anti-inflammatory effect of whole-body cryotherapy may also be due to a decrease in interleukin-6 and tumor necrosis factor levels. Knowledge of the effects of physiotherapy treatments on the immune response may be an important consideration when choosing a treatment strategy for these diseases.

Keywords: physiotherapy, immune response, therapeutic exercise

Bender T, Nagy Gy. [The effect of physiotherapy treatments on the immune system]. *Orv Hetil.* 2026; 167(17): 651–660.

(Beérkezett: 2026. január 25.; elfogadva: 2026. február 26.)

Rövidítések

AKT2 = AKT szerin/treonin kináz-2; AMP = adenosin-monofoszfát; AMPK = AMP-aktivált protein kináz; ASDAS = (Ankylosing Spondylitis Disease Activity Score) Bechterew-kór

Betegségaktivitási Pontszám; ASQoL = (Ankylosing Spondylitis Quality of Life Questionnaire) Bechterew-kór Életminőségi Kérdőív; BASFI = (Bath Ankylosing Spondylitis Functional Index) Bath Bechterew-kór Funkcionális Index; BASMI =

(Bath Ankylosing Spondylitis Metrology Index) Bath Bechterew-kór Metrológiai Index; BDNF = (brain-derived neurotrophic factor) agyeredetű neurotrofikus faktor; CD8⁺ = citotoxikus T-lymphocytá; COVID-19 = (coronavirus disease 2019) koronavírus-betegség 2019; CRP = C-reaktív protein; DNS = dezoxiribonukleinsav; EMS = (electrical muscle stimulation) elektromos izomstimuláció; ESWT = (extracorporeal shock wave therapy) extracorporalis lökéshullám-terápia; FNDC5 = (fibronectin type III domain-containing protein 5) fibronectin III. típusú domént tartalmazó 5-ös fehérje; hsCRP = (high-sensitivity CRP) nagy érzékenységgű CRP; IFN γ = interferon-gamma; Ig = immunglobulin; IGF1 = (insulin-like growth factor 1) inzulinszerű növekedési faktor-1; IL = interleukin; IL1Ra = IL1-receptor-antagonista; IL10RB = (interleukin 10 receptor subunit beta) az interleukin-10-receptor béta-alegysége; INSR = (insulin receptor isoform short preproprotein); JAK = Janus-kináz; MAPK = mitogénaktivált proteinkináz; miRNS-191 = mikro-RNS-191; NF κ B = nukleárisfaktor-kappa-B; NK = (natural killer) természetes ölésejt; NRP1 = neuropilin-1; PGC1 α = (peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator 1-alpha) peroxisómproliferátor-aktivált receptor-gamma koaktivátor-1-alfa; PI3K = foszfátidilinozotid-3-kináz; RANKL = (receptor activator of NF κ B ligand) az NF κ B-ligand receptoraktivátora; RNS = ribonukleinsav; RUNX2 = (runt-related transcription factor 2); SLE = szisztémás lupus erythematosus; sP-szelektin = szolúbilis P-szelektin; STAT = (signal transducer and activator of transcription) jelátviteli és transzkripció aktivátor; sVCAM1 = (soluble vascular cell adhesion molecule 1) szolúbilis vascularis sejtadhéziós molekula-1; TGF β = (transforming growth factor beta) transzformáló növekedési faktor-béta; TNF α = tumornekrózisfaktor-alfa; Treg-sejt = szabályozó T-sejt; TREM1 = (triggering receptor expressed on myeloid cells) myeloid sejteken expre-szált triggerreceptor; UV = (ultraviolet) ultraibolya; VAS = vizuális analóg skála

A fizioterápia, amely különféle mozgásterápiás, elektroterápiás, mechanoterápiás, hidro- és balneoterápiás kezeléseket foglal magában, számos pozitív hatással van az immunrendszerre. A mozgás javítja a vér- és nyirokkeringést, ami segíti az immunsejtek gyorsabb eljutását a szervezet különböző részeibe. A legújabb Lancet Global Burden Disease tanulmányban a rizikófaktor-csökkentők között említik a mozgást [1].

A gyógytorna jól ismert kedvező immunológiai hatásai mellett áttekintjük azokat az egyéb fizioterápiás eljárásokat is, amelyek elsősorban a teljes szervezetet érintő ingereken keresztül fejthetnek ki immunmoduláló hatást. Ugyanakkor bizonyos lokális terápiás beavatkozások szintén képesek immunválaszt kiváltani.

Az aktív mozgás fokozza a katecholaminok felszabadulását, ami elősegíti az effektor lymphocyták – például az NK- és T-sejtek – mobilizációját. A rendszeres, különösen mérsékelt intenzitású fizikai aktivitás hozzájárul az antiinflammatorikus környezet kialakulásához: növeli az IL10 szintjét, miközben csökkenti a proinflammatorikus citokinek (például IL6, TNF α , IL1 β) koncentrációját. A célzott terápiás beavatkozások és stresszcökkentő technikák mérsékelhetik a kortizolszintet, amely tartós

emelkedettség esetén immunszuppresszív hatású, így csökkentése kedvezően befolyásolja az immunműködést. A mérsékelt fizikai aktivitás emellett fokozza a neutrophil granulocyták kemotaxisát és fagocitálókapacitását. A manuális technikák és a mozgás mechanikai úton támogatják a nyirokkeringést, elősegítve a metabolitok elszállítását és az antigének nyirokcsomókba jutását.

A masszázs-terápia során alkalmazott mechanikai ingerek (mint a nyomás és a nyújtás) sejtszinten mechanotranszdukciós folyamatokat indítanak el. Balneo- és hidroterápiás kezeléseknél a hőhatás stimulálja a mellékvesekéreg működését, ami gyulladáscsökkentő és immunmoduláló hatású fehérjék (például hősokkfehérjék) felszabadulásához vezethet. Napjainkra egyre több adat áll rendelkezésre arról, hogy számos autoimmun betegség esetén a korábban ritkán alkalmazott vagy akár kontraindikáltak tartott fizioterápiás eljárások is kedvezően befolyásolhatják az immunválaszt. A fizioterápia nem csodaszer, és nem a gyógyszeres kezelés alternatívájaként értelmezendő, hanem azzal együtt, annak kiegészítéseként, sőt bizonyos esetekben önálló terápiás formaként alkalmazható.

Összefoglaló munkánkban a legutóbbi évek eredményei alapján ismertetjük a fizioterápiás kezeléseket, különösen a gyógytorna immunrendszert érintő hatásait.

Gyógytorna

A gyógytornász–fizioterapeuta feladata a mozgásfunkciók, a mozgástartomány és a mobilitás helyreállítása, illetve javítása, valamint a páciens életminőségének növelése a legkorszerűbb, rendelkezésre álló tudományos evidenciák alapján, a megbízhatóság szem előtt tartásával. A gyógytorna a fizioterápiás eszköztár alapvető és meghatározó eleme, amely már a primer prevencióban is jelentős szerepet játszik [2]. Közleményünkben a legfontosabb gyulladásos reumatológiai kórképek (rheumatoid arthritis, spondylarthritis, dermatomyositis, szisztémás lupus erythematosus) mellett az ezekhez gyakran társuló komorbiditások (osteoporosis, sarcopenia, cardiovascularis eltérések és daganatos megbetegedések) fizioterápiás kezeléseinek immunológiai hatásait tekintjük át.

A rendszeres testmozgás hatékony prevenció és terápiás stratégia, amely számos betegség lefolyását kedvezően befolyásolja. Protektív hatásai sokrétűek, elsősorban a metabolikus és gyulladásos útvonalak módosulásán keresztül érvényesülnek. A kiváltott immunválasz jellegét jelentősen meghatározza a mozgás intenzitása és időtartama. A különböző leukocytá-alcsoportok mennyiségi és minőségi változásai eltérően alakulnak akut és krónikus terhelés hatására [3]. A fizikai aktivitás fokozza a vakcinációs válasz-készséget, mérsékli a gyulladást, és hozzájárul a leukocyták telomerhosszáinak megőrzéséhez, míg a mozgásszegény életmód a betegségek fokozott kockázatával társul. Az immunválasz mértéke és jellege populációnként is eltérő; azt az életkor, a nem, a genetikai háttér,

a mikrobiom diverzitása és a környezeti tényezők egyaránt befolyásolják [4].

A vázizomzat ma már szekréciónak is értelmezhető, amely miokineknek nevezett bioaktív molekulákat termel. Az izom-összehúzódás során fokozódik többek között az irizin, az IL6 és a BDNF szekréciónak. A miokinek szabályozzák az immunsejtek proliferációját, differenciálódását és érését, valamint fokozzák funkcionális aktivitásukat, ezáltal hozzájárulnak a szervezet egészségének fenntartásához [5].

Egy 20–60 percig tartó akut, dinamikus terhelés két-fázisú lymphocytaválaszt vált ki. A kezdeti fázisban kifejezett lymphocytosis figyelhető meg, amely elsősorban az NK-sejteket érinti: számuk a keringésben többszörösére emelkedhet az alapértékhez képest. Az akut terhelés emellett mobilizálja a CD8⁺ T-sejt-alcsoportokat és a CD3⁺, CD56⁺, NK T-szerű sejteket is [6].

Az irizin a mozgás által indukált miokin, amely a fibronectin III. típusú domént tartalmazó 5-ös fehérjéből (FNDC5) hasad le. Jelentős szerepet játszik a glükóz- és lipidanyagcsere szabályozásában, az oxidatív stressz csökkentésében, a szisztémás gyulladás mérséklésében és a neuroprotekciónak. Az irizin kedvezően befolyásolja a Treg-sejtek differenciálódását, proliferációját és funkcióját, növeli a gyulladáscsökkentő citokinek termelését, valamint hozzájárul az immunhomeosztázis fenntartásához. Hatását sejtfelszíni receptorokon, többek között integrinokon keresztül fejti ki, aktiválva az AMPK, MAPK és PI3K/Akt jelátviteli útvonalakat [7]. Egészséges felnőttekben a testmozgás rövid távon mintegy 15%-os irizinszint-emelkedést eredményez [8].

Egy közelmúltban publikált metaanalízis 17 tanulmány (összesen 502 résztvevő) eredményeit elemezte. A hosszú távú aerob tréning növelte a T-sejtek számát csökkent immunstatusú betegekben, míg egészséges egyénekben nem mutatott hasonló hatást. Egészséges résztvevőknél az aerob edzés az IgA-szint szignifikáns csökkenését eredményezte a nem edző kontrollcsoport-hoz képest. Az egyszeri mozgásterápia nem befolyásolta érdemben a leukocyták, lymphocyták, CD3⁺ vagy NK-sejtek számát egészségesekben. A hosszú távú aerob terhelés elsősorban az adaptív immunrendszer komponenseire hat, ami különösen előnyös lehet csökkent immunstatusú betegek esetében [9].

A rendszeres fizikai aktivitás kiemelt jelentőségű a krónikus fájdalommal élők kezelésében is. Klinikai és kísérletes adatok alapján a testmozgás több mechanizmuson keresztül – a központi és perifériás idegrendszer adaptív változásain át – csökkenti a fájdalmat. Állatkísérletekben a fizikai aktivitás módosította a sérülés vagy fájdalom helyén zajló immunfolyamatokat: csökkent a gyulladáshoz immunsejtek és citokinek jelenléte. A mozgás mérsékli az M1-makrofágok, valamint az IL6, IL1 β és TNF α szintjét, miközben fokozza az M2-makrofágok és az IL10, IL4, illetve IL1ra termelődését [10].

62 tanulmány (1193 résztvevő) adatainak összegzése alapján a testmozgás által kiváltott miokinexpresszió-

növekedés közvetlenül a terhelést követően, valamint 60 perccel később is kimutatható volt. Mind az aerob, mind az ellenállásos edzés jelentős változásokat idézett elő a miokinszintekben, lényeges különbség nélkül a két edzésforma között [11].

Rheumatoid arthritis

A rheumatoid arthritis krónikus autoimmun betegség, amely főként az ízületeket, de a test más részeit is érinti. A személyre szabott gyógytorna javítja a fizikai funkciókat, az életminőséget, és csökkentheti a gyulladáshoz tartozó aktivitást [12].

Egy prospektív megfigyelés vizsgálatban rheumatoid arthritisben szenvedő felnőttek fizikai aktivitását kvantitatív aktigráfiával (az alvás és ébrenlét során a végtagmozgások folyamatos monitorozásán alapuló eljárással) mérték hét egymást követő napon keresztül. Ugyanebben az időszakban perifériás vérmintákat is gyűjtöttek, amelyeket RNS-szekvenálással elemeztek. Az aktigráfias és transzkriptomikai adatokat 35 beteg esetében értékelték. A legmagasabb aktivitási szintet mutató betegekben a rheumatoid arthritis patogenezisében kulcsszerepet játszó immunjelátviteli útvonal esetében. Ezek közé tartozott a CD40-, STAT3-, TREM1-, IL17A-, IL8-, Toll-like receptor- és interferon-mediált jelátvitel. A fizikailag aktívabb rheumatoid arthritises betegekben kisebb expressziót mutattak a rheumatoid arthritis kialakulásában és fenntartásában szerepet játszó immunszignál-útvonalak, ami arra utal, hogy a rendszeres fizikai aktivitás potenciális védőhatással bírhat a betegségben [13].

Külön figyelmet érdemel a mikroRNS-ek (miRNS-ek) szerepe. Ezek endogén eredetű, egyszálú, nem kódoló RNS-molekulák, amelyek számos biológiai folyamat szabályozásában vesznek részt, így a rheumatoid arthritis kialakulásában és progressziójában is. A miRNS-ek a betegségaktivitás potenciális biomarkereinek, sőt lehetséges terápiás célpontoknak is tekinthetők. Ismert továbbá, hogy számos miRNS expresszióját akut módon befolyásolja a testmozgás, és ezek a molekulák közreműködnek a fizikai aktivitáshoz kapcsolódó adaptációk szabályozásában a vázizomban, a cardiovascularis rendszerben és az aerob kapacitás területén. Több, testmozgás által modulált miRNS a rheumatoid arthritis patomechanizmusában is releváns szerepet tölthet be. E molekulák vizsgálata hozzájárulhat a fizikai aktivitás rheumatoid arthritisre gyakorolt hatásmechanizmusának mélyebb megértéséhez, a személyre szabott mozgásterápia pontosabb megtervezéséhez, valamint a betegség terápiás lehetőségeinek bővítéséhez [14].

Spondylarthritisek

A spondylitis ankylopoetica krónikus gyulladáshoz reumatológiai kórkép, amely elsősorban a gerincet és a sacroiliacalis ízületeket érinti.

Egy 12 hetes, prospektív, randomizált, kontrollált vizsgálatban 54, axialis spondylitis ankylopoeticában szenvedő beteget követtek nyomon, akiket egyenlő arányban osztottak be felügyelt aerob gyógytornát, illetve otthoni gyógytornát végző csoportba (27–27 fő). A klinikai kimeneteleket az ASDAS, VAS, BASFI és BASMI indexek segítségével értékelték, továbbá vizsgálták a mellkaskiterést, a 6 perces sétateszt eredményeit és az életminőséget (ASQoL). Laboratóriumi paraméterként a CRP-, TNF α - és IL17-szinteket határozták meg a vizsgálat kezdetén és a 12 hetes intervenciót követően. A betegek mindkét csoportban heti három alkalommal végezték a gyógytornaprogramot. Mind az otthoni, mind a felügyelt aerob gyógytorna szignifikáns javulást eredményezett a fájdalom, a funkcionális állapot, a gerincmobilitás, a mellkaskiterés, a funkcionális terhelhetőség és az életminőség tekintetében. Az otthoni programot végző csoportban TNF α -szint-csökkenés volt megfigyelhető. A felügyelt aerob gyógytornát végző csoportban ugyanakkor nagyobb mértékű javulás mutatkozott a betegségaktivitás, a fájdalom, a funkcionális kapacitás és az életminőség terén, mint az otthoni gyógytorna esetében. A CRP-, TNF α - és IL17-szintek változása azonban a kiindulási értékekhez viszonyítva nem különbözött statisztikailag szignifikáns mértékben a két csoport között [15].

Dermatomyositis

Egy mozgásterápiával kapcsolatos vizsgálatba 7, dermatomyositisben és 6, immunmediált nekrotizáló myopathiában szenvedő beteget, valamint 10 egészséges kontrollszemélyt vontak be. Az intramuscularis lipidtartalom meghatározására a résztvevőknél a 12 hetes, kombinált gyógytornaprogram megkezdése előtt és annak befejezése után izombiopsziát végeztek. A kiindulási vizsgálatok során a dermatomyositis-csoportban a II-es típusú izomrostok intramuscularis lipidtartalma nagyobbak bizonyult a kontrollokhoz képest. A mozgásterápiát követően mind a dermatomyositis, mind az immunmediált nekrotizáló myopathiás csoportban szignifikáns csökkenés volt megfigyelhető az I-es és II-es típusú izomrostok lipidfelhalmozódásában. Ezzel párhuzamosan fokozódott a lipidoxidációval és az inzulin-jelátvitellel összefüggő gének expressziója: a dermatomyositis csoportban az AMPK β 2 és az INSR, míg az immunmediált nekrotizáló myopathiás csoportban az AKT2, az AMPK β 2 és a PGC1 α génexpresszió emelkedett.

Az eredmények arra utalnak, hogy a rendszeres testmozgás csökkenti a kóros lipidfelhalmozódást az I-es és II-es típusú izomrostokban dermatomyositis és immunmediált nekrotizáló myopathiás betegek esetében, miközben kedvezően befolyásolja az inzulin-jelátviteli és lipidoxidációs útvonalakat. Mindez arra enged következtetni, hogy a mozgásterápia hozzájárulhat a vázizomzat strukturális és metabolikus minőségének javításához e kórképekben [16].

Szisztémás lupus erythematosus

Szisztémás lupus erythematosusban (SLE) gyakori a kifejezett fáradtság, a fokozott fájdalomérzékenység, az életminőség romlása és a kedvezőtlen kimenetel, jóllehet a klinikai tünetek heterogének lehetnek. A kezelés elsődleges célja a remisszió elérése és az életminőség javítása. A testmozgás biztonságos és ígéretes terápiás lehetőségnek tekinthető, mivel egyre több bizonyíték utal arra, hogy káros mellékhatások nélkül képes modulálni és egyensúlyba hozni az immunrendszer működését. Emellett javítja a cardiorespiratoricus kapacitást és a mozgásszervi teljesítményt, amelyek SLE-ben gyakran károsodnak. Ennek ellenére a testmozgás jelenleg még nem része a hivatalos SLE-kezelési kritériumoknak. További nehézséget jelent, hogy a fájdalom és fáradtság súlyosbodásától való félelem miatt sok beteg kineziófóbiától szenved, és mozgásszegény életmódot folytat, ami tovább rontja fizikai állapotukat. Ezért az SLE-betegek megfelelő edukációja és a biztonságos testmozgásra való felkészítése elengedhetetlen az egészségi állapot javítása érdekében [17].

Egy 24 SLE-beteget bevonó randomizált vizsgálatban a résztvevőket gyógytorna- és kontrollcsoportra osztották. A beavatkozási csoport 8 héten át tartó, kombinált, felügyelt mozgásprogramban vett részt heti három alkalommal, 60 perces foglalkozások keretében. Az IFN γ , IL6, IL9, IL17A, IL17F és IL21 szérumszintjeiben nem mutatkozott szignifikáns különbség a két csoport között, ugyanakkor a TNF α , IL2, IL4 és IL5 átlagos szérumszintje szignifikánsan csökkent a gyógytornában részesülő betegek körében a kontrollcsoporthoz viszonyítva. Ezzel szemben az IL10, IL13 és IL22 szérumszintje 8 hét elteltével szignifikánsan magasabb volt a kontrollcsoportban a gyógytornacsoporthoz képest [18].

Egy kohorszvizsgálatban az önbevalláson alapuló fizikai aktivitás és az immunológiai paraméterek közötti összefüggéseket elemezték. Az eredmények szerint a fizikai aktivitás befolyásolta az immunsejtek arányát: a mozgásszegény betegek körében kifejezettebb CD4⁺ T-sejt lymphopenia volt megfigyelhető. A fizikailag inaktív betegek CD4⁺ T-sejtjei a TNF α , IFN γ , IL1 β és egyéb proinflammatorikus citokinek fokozott termelését mutatták. Hálózatelemzéssel igazolták, hogy a mozgásszegény állapothoz kapcsolódóan a proinflammatorikus génexpressziót meghatározó gének között szoros összefüggés áll fenn [19].

Osteoporosis

Autoimmun gyulladással mozgásszervi betegségekben a testmozgás a csontanyagcserére gyakorolt hatásán keresztül is képes immunválaszt modulálni. A mechanikai terhelés gátolja a szklerosztin expresszióját, ezáltal aktiválja a Wnt/ β -katenin jelátviteli útvonalat, valamint szabályozza a RUNX2, a miRNS-191 és a miRNS-3070a expresszióját, elősegítve az osteogenezist. Emellett fo-

kozza a csontszövet angiogenesisét. Az endothelsejtek által termelt nitrogén-monoxid hozzájárul az osteoclastogenesis gátlásához. A fizikai aktivitás következtében kialakuló hormonális változások csökkenthetik a RANKL expresszióját, miközben növelik az oszteoprotegerin szintjét, ezáltal kedvezően befolyásolva a csontátépülés egyensúlyát. Az izomtömeg növekedése és az egyensúly javulása mérsékli az elesések kockázatát, így hozzájárul a törések megelőzéséhez. Összességében a rendszeres testmozgás gátolja a gyulladással összefüggő csontvesztést [20].

Sarcopenia

A testmozgás bizonyítottan kedvező hatással van a sarcopeniára, ugyanakkor a háttérben álló molekuláris mechanizmusok még nem tisztázottak teljes mértékben. Az öregedési folyamatban és a sarcopenia kialakulásában meghatározó szerepet tulajdonítanak a mitokondriális diszfunkciónak. Egy közelmúltban publikált vizsgálat azt elemzte, miként befolyásolja az öregedés a mitokondriumok háromdimenziós szerkezetét és annak szabályozó-mechanizmusait a vázizomban. A szerzők feltételezése szerint az életkor előrehaladtával a mitokondriumok háromdimenziós ultrastruktúrája átalakul, ami funkciókárosodáshoz vezet, és ezt a kedvezőtlen folyamatot a rendszeres testmozgás mérsékelheti.

A fizikai aktivitás elősegítette a mitofuzin-2 szintjének helyreállítását. Ez a mitokondriális dinamikában szerepet játszó fehérje alapvető jelentőségű a mitokondriális hálózat szerkezeti integritásának fenntartásában. Az eredmények arra utalnak, hogy a testmozgás a mitofuzin-2 modulációján keresztül hozzájárulhat az életkorral összefüggő izomatrófia enyhítéséhez [21].

Cardiovascularis rendszer

A testmozgás jelentősen javítja a cardiovascularis funkciókat az immunmetabolikus szabályozás befolyásolásán keresztül. Ennek mechanizmusai közé tartozik a fokozott szimpatikus aktivitás gátlása, a vagusónus növelése, az IL6/IL10 egyensúly modulálása, valamint a rövid láncú zsírsavak–Treg-tengely aktiválása [22].

A cardiovascularis betegségek világszerte kiemelkedő közegészségügyi terhet jelentenek, mivel a morbiditás és mortalitás vezető okai közé tartoznak. A rendszeres fizikai aktivitás széles körben elismert protektív tényező a kórképek megelőzésében. Egy vizsgálat kétféle randomizációs módszer alkalmazásával elemzte, hogy a keringő citokinek milyen potenciális mediátor-szerepet töltenek be a fizikai aktivitás és a főbb cardiovascularis kimenetek – így a koszorúér-betegség, a szív-érelégtelenség és az ischaemiás szívbetegség – közötti összefüggésben. Az eredmények fordított kapcsolatot igazoltak a fizikai aktivitás szintje és az ischaemiás szívbetegség kockázata között. Emellett az IL10RB-t azonosították olyan mediátorként, amely a fizikai aktivitás

ischaemiás szívbetegségre gyakorolt kedvező hatásának mintegy 6,65%-át magyarázza.

Mindezek alapján valószínűsíthető, hogy a fizikai aktivitás az immunrendszer jelátviteli útvonalainak modulálásán – különösen az IL10RB-mediált mechanizmusokon – keresztül hozzájárulhat a cardiovascularis betegségek kockázatának csökkentéséhez [23].

Daganatos megbetegedések

A rendszeres fizikai aktivitás csökkentheti a daganatok incidenciáját, mortalitását és kiújulási arányát, miközben nem jár jelentős káros mellékhatásokkal. Az elmúlt években számottevő előrelépés történt a testmozgás szerepének megítélésében mind az újonnan diagnosztizált daganatos betegek, mind az aktív onkológiai kezelés alatt állók, valamint az áttétes betegek körében. Egy hazai közlemény részletesen ismertette a fizioterápiás beavatkozások – elsősorban a gyógytorna – lehetőségeit a daganatos betegségek komplex kezelésében [24].

A testmozgás jól ismert, biztonságos és hatékony stratégia az emlőrákot túlélők rehabilitációjában. Egy közelmúltbeli metaanalízis olyan randomizált, kontrollált vizsgálatokat elemzett, amelyek a nagy intenzitású, intervallum jellegű gyógytornát hasonlították össze a szokásos ellátással, a közepes intenzitású folyamatos tréninggel és az ellenállásos edzéssel emlőráktúlélők körében. A 15 bevont vizsgálat eredményei szerint a nagy intenzitású intervallumedzés szignifikánsan javította a cardiorespiratoricus fittséget mind a szokásos ellátáshoz, mind a közepes intenzitású folyamatos tréninghez, mind az ellenállásos edzéshez képest. Emellett a szokásos ellátásnál hatékonyabban javította az életminőséget és csökkentette a CRP szintjét, valamint a közepes intenzitású folyamatos edzéshez viszonyítva nagyobb mértékben mérsékelte az IL6 szintjét. A gyakoriság, intenzitás és időtartam figyelembevételével általánosan heti három alkalommal végzett, 30–40 perces mozgás javasolt 8–12 héten keresztül. A nagy intenzitású gyógytorna biztonságos és hatékony módszer az emlőráktúlélők számára, amely kiemelkedő javulást eredményez a cardiorespiratoricus fittségben, valamint kedvezően befolyásolja az életminőséget és a gyulladással kapcsolatos paramétereket, alátámasztva a rehabilitációs alkalmazását [25].

A fizikai aktivitás javítja az immunrendszer működését, és vastagbélrák-túlélők esetében összefüggésbe hozható a tumorrecidíva csökkenésével, bár a pontos mechanizmusok még nem teljesen tisztázottak. A testmozgás által indukált citokinek (exerkinek), különösen az IL7 és az IL15, kulcsszerepet játszanak az optimális immunfunkció fenntartásában. Egy 12 hetes, strukturált mozgásprogram során azt vizsgálták, növeli-e a közepes intenzitású aerob testmozgás az IL7 és IL15 szintjét vastagbélrák-túlélők körében. 60 résztvevőt randomizáltak heti 150 perc otthoni aerob tréninget végző csoportba, illetve kontrollcsoportba. A kiindulási állapotban a kemoterápiában részesült betegek IL7-szintje alacsonyabb volt, mint a kontrollcsoporté [26].

nyabb volt, mint a nem kezelt résztvevőké. A fizikai állóképesség kezdeti szintje korrelációt mutatott az IL15 koncentrációjával. Az IL7 szintje emelkedett a beavatkozási csoportban, míg a kontrollcsoportban nem változott. Az IL15 szintje nem különbözött szignifikánsan a csoportok között, ugyanakkor longitudinális változása összefüggést mutatott a testösszetétel változásával. Az eredmények alapján az aerob testmozgás javíthatja a colorectalis daganat túlélőinek immunfunkcióját az IL7 helyreállításán, valamint az IL15 testösszetételhez kapcsolódó modulációján keresztül [26].

A rendszeres testmozgás nemcsak a kezeléssel összefüggő mellékhatásokat – például a fáradtságot, hányingert és izomvesztést – mérsékli, hanem az általános túlélési esélyeket is javítja. Hatásai több biológiai mechanizmuson keresztül érvényesülnek: csökkenti a gyulladást a proinflammatorikus citokinek mérséklésével és a nukleárisfaktor-kappa-B (NF κ B)-jelátvitel gátlásával; fokozza a daganatellenes immunitást az NK-sejtek és CD8⁺ T-lymphocyták aktiválásával; javítja az anyagcserét az inzulinérzékenység növelésével, valamint a keringő inzulin és inzulinszerű növekedési faktor-1 (IGF1) szintjének csökkentésével. Emellett gátolja a tumor növekedéséhez és túléléséhez szükséges kulcsfontosságú onkogén jelátviteli útvonalakat, elősegíti a genom stabilitását a DNS-javító enzimek aktivitásának fokozásával, valamint erősíti a tumorelles immunválaszt – többek között az M1-makrofág-polarizáció támogatásán keresztül. E mechanizmusok potenciálisan szinergizálhatnak az immunterápiákkal, beleértve az immunellenőrzőpont-gátló kezeléseket is, javítva azok hatékonyságát [27]. További adatok utalnak arra, hogy a testmozgás fokozza a tumorsejtek apoptózishajlamát, és elősegíti a dendritikus sejtek érését. A catecholamin-mediált NK- és CD8⁺ T-sejt mobilizáció elősegíti e sejtek tumorba történő infiltrációját, amit a tumor mikrokozonyzetének érrendszeri és metabolikus változásai is támogatnak. A humán vizsgálatok összességében alátámasztják, hogy a testmozgás fokozza a daganatellenes immunválaszokat, ami indokolja a strukturált mozgásterápia integrálását az onkológiai kezelési stratégiákba, akár immunterápiával kombinálva [28].

A testmozgás és a metabolikus paraméterek változásai közötti összefüggéseket számos közlemény vizsgálta. Fiziológias körülmények között a laktát különböző biológiai funkciókat szabályoz, és befolyásolhatja az immunszuppresszió mértékét, ezáltal gátolva a tumorprogressziót. A Warburg-effektus következtében azonban a tumor mikrokozonyzetében a laktát koncentrációja tartósan magas marad. A laktáció aktiválódása fokozza több releváns jelátviteli útvonal – köztük a JAK-STAT és a PI3K/Akt/mTOR – expresszióját, ami az immunszabályozás elnyomásához és a tumorprogresszió elősegítéséhez vezet. Ezzel szemben az aerob testmozgás mint fontos daganatellenes intervenció fokozhatja a gyulladáscsökkentő kapacitást a tumorszuppresszor izomfaktorok szekrécióján keresztül, valamint növelheti az

immunsejtek – különösen a CD8⁺ T-sejtek – tumorinfiltrációját, javítva a tumorölő hatékonyságot. A rendszeres aerob testmozgás felgyorsíthatja a laktát eltávolítását, fokozhatja annak metabolizmusát, és csökkentheti a tumor mikrokozonyzetének laktátkoncentrációját [29].

Masszázs

A masszázsterápia manuális technikák alkalmazásán alapul, amelyek célja az izomzat relaxációjának elősegítése, a lokális és szisztémás keringés javítása, valamint a fájdalom csökkentése. A masszázs immunmoduláló hatásairól lényegesen kevesebb tudományos adat áll rendelkezésre, mint a gyógytorna esetében, ugyanakkor a rendelkezésre álló vizsgálatok ígéretes eredményekről számolnak be.

Rheumatoid arthritisben végzett klinikai tanulmányok alapján a különböző masszázstechnikák – ideértve a svéd masszázst, az aromaterápiás masszázst és a talpreflexológiát – hozzájárulhatnak a fájdalom csökkentéséhez és az ízületi funkció javításához. Emellett kedvezően befolyásolhatják a gyulladással kapcsolatos biomarkereket, például az IL6 és a TNF α szintjét, valamint mérsékelhetik a kortizol koncentrációját. E hatások révén a masszázsterápia elősegítheti a neuroendokrin egyensúly helyreállítását, és támogatja a nyirokkeringést.

Továbbá a masszázs potenciálisan kedvező hatással lehet a társbetegségek kezelésére és a pszichológiai jóllét javítására, így komplex módon járulhat hozzá a krónikus gyulladással járó mozgásszervi betegségekben szenvedő betegek életminőségének javításához [30].

Fototerápia

A fotobiomoduláció – más néven kis intenzitású fényterápia (lézer) – ígéretes, nem invazív kezelési modalitásként került előtérbe, amely számottevő immunmoduláló hatással rendelkezik. Egy átfogó összefoglaló tanulmány részletesen elemezte a fotobiomoduláció által kiváltott immunmoduláció mechanizmusait, annak különböző immunsejtekre gyakorolt hatását, valamint az immunrendszerrel összefüggő kórképekben történő klinikai alkalmazási lehetőségeit. A közlemény kiemelten foglalkozott a fotobiomoduláció által befolyásolt sejt- és molekuláris szintű folyamatokkal, beleértve a mitokondriális működés változásait, a reaktívoxigén-származékok képződését, valamint a kulcsfontosságú intracelluláris jelátviteli kaszkádok aktivációját. Ismertették továbbá a kezelés hatásait a makrofágokra, a T-lymphocytákra és a dendritikus sejtekre, valamint alkalmazási lehetőségeit autoimmun betegségekben, gyulladással járó állapotokban és a sebgyógyulás támogatásában [31].

Az UVB-fototerápia gyulladáscsökkentő, immunszuppresszív és citotoxikus tulajdonságokkal bír. Hatásmechanizmusa nem teljes mértékben tisztázott, de feltételezhetően szerepet játszik benne a *cis*-urokánsvan indukciója, az antigénprezentáció módosulása, az NK-sejtek aktivitásának csökkenése, valamint a T-lymphocy-

ták és keratinocyták apoptózisának kiváltása. Az UVA1-fototerápia mélyebbre penetrál a dermisbe, ahol interstitialis kollagenáz és különböző citokinek termelődését indukálja, elősegítve ezzel a szklerotikus bőr fel-lazulását. A fototerápiánál a dendritikus sejtek az apoptotikus lymphocytákból antigéneket vesznek fel, ami specifikus immunválasz kialakulásához vezet anélkül, hogy szisztémás immun-suppressziót idézne elő [32].

Elektroterápia

Az elektromos áram alkalmazása a fizioterápiában első-sorban fájdalomcsillapító célt szolgál. Ugyanakkor szisz-témás immunológiai hatásai is vizsgálat tárgyát képezik. Egy tanulmányban a teljes testre kiterjedő elektromos izomstimulációnak a gyulladásos és gyulladáscsökkentő citokinekre gyakorolt hatását értékelték túlsúlyos férfiak-nál. A 30 résztvevőt EMS- és kontrollcsoportba rando-mizálták. Az eredmények szerint az elektromos izomsti-muláció szignifikánsan növelte az interferon- γ és az IL10 szintjét, miközben szignifikáns csökkenést eredménye-zett az IL17 és IL23 koncentrációjában, ami immunmo-duláló hatásra utal [33].

A lökéshullám-kezelés (extracorporalis lökéshullám-terápia – ESWT) mechanoterápiás eljárás, amely akusztikus hullámok energiáját felhasználva csökkenti a fájdal-mat és serkenti a szöveti regenerációt. Idős, osteoarthri-tisben szenvedő betegek körében vizsgálták a nagy dózi-sú (0,25 mJ/mm²) és kis dózisu (0,10 mJ/mm²) ESWT immunrendszerre gyakorolt hatását. A 65 év feletti, térdízületi osteoarthritissel szenvedő betegeket rando-mizálták a két kezelési csoportba; a terápiát 4 héten át, heti rendszerességgel alkalmazták. A szérumszintek, az aktivált immunsejtcsoportok és a Treg-sejtek szin-tjét a kezelés előtt, a 4 hetes beavatkozást követően, vala-mint 1 hónapos utánkövetés során mérték. A nagy dózi-sú ESWT a proinflammatorikus citokinek szintjének emelkedését és az immun-suppresszív Treg-sejtek szá-mának csökkenését eredményezte a kis dózisu kezelés-hez képest. Az eredmények dózisufüggő immunmodulá-cióra utalnak, amelynél a nagyobb intenzitás kifejezet-tebb proinflammatorikus választ váltott ki idős betegek-ben [34].

Egy másik vizsgálatban 40, rheumatoid arthritisben szenvedő beteget randomizáltak két csoportba. Az egyik csoport kombinált farmakoterápiában részesült (naponta háromszor 25 mg diklofenák és hetente egyszer 15 mg metotrexát), és a betegeket a 7. és 14. napon értékelték. A másik csoport két alkalommal ESWT-t kapott. A viz-szálat során négy biomarker fehérje (NRP1, CELF6, COX2 és RGS1), valamint két gyulladásos citokin (IL6 és IL17) szérumszintjét határozták meg. Mindkét cso-portban szignifikáns változások mutatkoztak a bio-markerek szintjében a beavatkozás előtti és utáni értékek között. Az ESWT-csoport azonban kifejezettebb hatást mutatott, míg a diklofenák + metotrexát kezelés eseté-ben a gyulladáscsökkentő hatás késleltetetten jelentke-

zett az ESWT-hez viszonyítva. Klinikai szempontból az ESWT jelentősebb fájdalomcsillapító hatást eredménye-zett, mint a kombinált gyógyszeres kezelés.

Az ESWT gyors gyulladáscsökkentő hatása részben az NRP1-expresszió szabályozásán keresztül érvényesülhet – ez a trofikusfaktor-receptor elősegíti az endothelsejtek migrációját és az angiogenesis révén a szöveti regenerá-ciót –, valamint az RGS1 modulációján keresztül, amely a gyulladásos jelátvitel korlátozásában játszik szerepet [35].

Hidroterápia, szauna

A szauna meleg, száraz vagy nedves levegőjű környezetet biztosító helyiség, amelyben a magas hőmérséklet kont-rollált ingerterápiás hatást gyakorol a szervezetre. Egy vizsgálatban egészséges férfiakat két csoportra osztottak: edzett (n = 10) és edzetlen (n = 10) résztvevőkre. Vala-mennyi alany tíz alkalommal vett részt szaunázáson, al-kalmanként háromszor 15 perces expozícióval, amelye-ket 2 perces lehülési szakaszok követtek. A rectalis testhőmérséklet, a kortizolszint és az immunglobulinok emelkedése tekintetében nem mutatkozott szignifikáns különbség a két csoport között. Az első szaunázást köve-tően azonban az edzetlen csoportban kifejezettebb szív-frekvencia-emelkedést figyeltek meg. A kezeléssorozat végén, az utolsó szaunázás után az edzett csoportban alacsonyabb szívfrekvencia-értékeket mértek, ami adap-tív cardiovascularis választ jelezhet.

A szaunafürdő hatása a fehérvérsejtszám, valamint a CD56⁺, CD3⁺, CD8⁺ sejtek és az IgA-, IgG- és IgM-szintek változásában eltérő mintázatot mutatott az edzett és az edzetlen alanyok között. Az eredmények arra utalnak, hogy a szaunázás hozzájárulhat az immun-válasz kedvező befolyásolásához, különösen ismételt ke-zeléssorozat formájában alkalmazva [36].

Balneoterápia

A balneoterápia természetes gyógytényezők – ásványvíz, gyógyvíz, gyógyiszap (peloid) és gyógygázok – terápiás célú alkalmazásán alapul. Teljes testet érintő ingerte-rápiaként kedvezően befolyásolhatja az immunrendszer működését. Mozgásszervi betegek körében egy 14 na-pos balneoterápiás kúra szignifikánsan csökkentette az IL6 szérumszintjét [37].

Egy másik vizsgálatban 36 idős, térdízületi osteo-arthritissel szenvedő beteg részesült 10 napos balneo-terápiás kezelésben, amely napi gyógyvízes fürdőből és 40–42 °C-on alkalmazott, egész testre kiterjedő iszapte-rápiából állt. A térd flexiós és extenziós mozgástatómá-nyát, a fájdalmat, az ízületi merevséget és az egészséggel összefüggő életminőséget értékelték. A kezelés végére valamennyi klinikai paraméter szignifikáns javulást muta-tott. Az IL8 és a TGF β keringő szintje csökkent, ami korrelált a fájdalom mérséklődésével és a térdhajlítás javulásával. A CD4⁺ szabályozó T-sejtek aránya csökkent,

míg a CD8⁺ szabályozó T-sejtek száma emelkedett. Az iszappal végzett balneoterápia hatékonynak bizonyult az osteoarthritis tüneteinek enyhítésében; a citokinek által közvetített gyulladáscsökkentő hatás hozzájárult a fájdalom mérséklődéséhez és az ízületi funkció javulásához [38].

A radonfürdő-terápiáról számos közlemény számol be, különösen gyulladásos reumatológiai betegségek kapcsán. A RAD-ON02 prospektív, placebokontrollált vizsgálat a radon- és termálfürdő-kezelés osteoclastogenesisre gyakorolt hatását elemezte. A betegek véréből izolált monocytákat csontszelvényeken, növekedési faktorok jelenlétében érett osteoclastokká differenciálták. Az eredmények alapján a csontreszorpciós terület szignifikánsan csökkent. A betegek szérumban az NFκB-ligand receptoraktivátorának (RANKL) szintje kizárólag radonkezelést követően csökkent szignifikánsan, míg a termálfürdő esetében nem. A radonfürdő után a Treg-sejtek aránya szignifikánsan emelkedett, míg a Th17-sejtek nem változott érdemben. Mindkét kezelés befolyásolta az osteoclastogenesis és a csontreszorpciót, a radonkezelés azonban kifejezettebben módosította a Treg-populációt és a Th17/Treg arányt, ami immunmoduláló hatásra utal. Az adatok alapján a radon nem kizárólagos tényezője a csontanyagcserére gyakorolt hatásoknak, bár azok radonkezelést követően hangsúlyosabbak voltak, mint önmagában a termálfürdő esetén [39].

COVID-19-en átesett betegek esetében termálfűtött inhalációt követően a szérumcitokinszintek és egyéb gyulladásos biomarkerek szignifikánsan csökkentek a kontrollcsoporthoz képest, emellett a nasopharyngealis mikrobiota összetételében is kedvező változások voltak kimutathatók [40].

A peloidterápia az egyik leghatékonyabb nem gyógyszeres eljárás a mozgásszervi betegségek, például az osteoarthritis kezelésében. Egy közelmúltbeli vizsgálat igazolta, hogy a rozmarinsavval dúsított peloidok fokozzák az iszapterápia terápiás hatását idős osteoarthritis betegek körében. 23 idős beteg vett részt egy 10 napos, hipertermikus balneoterápiás ciklusban, amely rozmarinsavval dúsított iszapot és 40 °C-os gyógyvizet alkalmazott. A kezelést követően szignifikáns kortizolszint-emelkedést, az IL8-szint csökkenését, valamint a neutrophil granulocyták fagocitáló aktivitásának fokozódását figyelték meg. Ezeket a változásokat a térdízületi mozgástartomány javulása és a fájdalom csökkenése kísérte [41].

Egy hidrogén-szulfiddal (H₂S) foglalkozó összefoglaló közlemény áttekintette a H₂S biológiai szerepét és balneológiai alkalmazását. A sejt szintű mechanizmusok közé tartozik az antioxidáns, gyulladáscsökkentő és immunmoduláló hatás. A szerzők összefoglalták a dermatológiai és mozgásszervi alkalmazásokkal, illetve inhalációval kapcsolatos preklinikai és klinikai bizonyítékokat, valamint a metabolikus, cardiovascularis, gastrointestinális és renalis hatásokat [42]. Mind az endogén, mind az exogén H₂S számos kulcsfontosságú sejtjelátviteli útvonalat modulál: monocytákban, polimorfonukleáris sej-

tekben és T-lymphocytákban befolyásolja a proliferációt, a polarizációt, az adhéziós mechanizmusokat, továbbá modulálja a citokintermelést és a kemokinekre adott választ [43].

A kénes fürdők hatásáról mozgásszervi és bőrgyógyászati betegségekben számos balneológiai közlemény jelent meg. A balneoterápia bőrmikrobiomra gyakorolt hatásáról az utóbbi években két hazai vizsgálat is beszámolt. Psoriasisban szenvedő, a Hévízi-tóban fürdetett betegeknek a plakkmentes bőrfelületen a termálfűtött szignifikánsan növelte a *Leptolyngbya* genus arányát, miközben csökkentette a *Flavobacterium* mennyiségét, ami kedvező klinikai következményekkel társult [44]. A laktelki gyógyvíz alkalmazását követően a *Rothia mucilaginosa* aránya emelkedett, míg a *Paracoccus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* és *Burkholderia gladioli* csökkenő tendenciát mutatott, ami szintén potenciálisan kedvező klinikai hatásokra utal [45].

Krioterápia

A teljestest-krioterápia intenzív ingerterápiás eljárás, amelynek során a szervezetet rövid időre rendkívül alacsony hőmérsékletnek (−110 °C és −160 °C között) teszik ki egy speciálisan kialakított kriokamrában, elsősorban fájdalomcsillapító és gyulladáscsökkentő céllal.

Egy 11 közleményt (összesen 274 páciens) összegző elemzés szerint a teljestest-krioterápiában részesülők szérumban az IL1β szintje alacsonyabb volt a kontrollcsoporthoz képest, ami különösen sportolók számára lehet kedvező. A kezelést követően az IL10 szintje emelkedett a kontrollcsoporthoz viszonyítva, és ez a hatás elhízott egyének esetében kifejezettebbnek bizonyult [46].

Aktív rheumatoid arthritisben szenvedő betegeket, akik 16 napos komplex terápiában részesültek, randomizáltak teljestest-krioterápiás csoportba (6 kezelés 14 nap alatt, −130 °C-on, alkalmanként 3 percig), illetve kezelés nélküli kontrollcsoportba. A 12 hetes utánkövetés során az intervenció csoportban a fájdalom szintje szignifikánsan a kiindulási érték alatt maradt. A betegség aktivitása a kezelést követően statisztikailag és klinikailag is szignifikáns javulást mutatott, ez a hatás azonban a 12 hetes kontrollvizsgálat idejére már nem bizonyult szignifikánsnak. A kezelt csoportban a TNFα és az IL6 szintje szignifikánsan csökkent. A teljestest-krioterápia rheumatoid arthritisben klinikailag jelentős fájdalom- és betegségaktivitás-csökkenést eredményez, ami a fájdalomcsillapítók alkalmazásának mérsékléséhez vezethet [47].

Spondylitis ankylopoeticában szenvedő betegek esetében a teljestest-krioterápiát követő 60 perces gyógytorna hatását vizsgálták az endoarthral gyulladásos paramétereire. A kontrollcsoport kizárólag gyógytornában részesült. A vizsgált biomarkerek közé tartozott a nagy érzékenységű CRP (hsCRP), a szolúbilis P-szelektin (sP-szelektin), az sVCAM1, a neopterin, valamint az oxidatív stressz paraméterei. A méréseket a kezelés befejezése előtt egy nappal, illetve azt követően egy nappal végezték.

ték. A teljestest-krioterápiával kezelt csoportban szignifikáns csökkenést figyeltek meg a hsCRP, az sP-szelektin, az sVCAM1 és a neopterin koncentrációjában. Mindkét csoportban mérséklődtek bizonyos oxidatívstressz-paraméterek, a változás mértéke azonban a krioterápiával kombinált kezelés esetében nagyobb volt, mint a kizárólag gyógytornában részesülő betegeknél. Az eredmények arra utalnak, hogy a teljestest-krioterápia kedvezően befolyásolja a spondylitis ankylopoeticás betegek endothel-funkcióval összefüggő paramétereit [48].

Következtetés

Összességében megállapítható, hogy a fizioterápiás kezelése jól ismert és széles körben vizsgált hatásai, mint a fájdalomcsillapítás, a mozgástatómány növelése és a keringés javítása mögött jelentős részben az immunválaszban bekövetkező változások állnak. Ennek ellenére a mechanizmusok átfogó, rendszerszintű vizsgálata mindaddig viszonylag háttérbe szorult.

A fizioterápiás beavatkozások – különösen a gyógytorna – hatásainak mélyebb megértéséhez elengedhetetlen annak feltárása, hogy ezek a kezelések milyen élettani, sőt molekuláris szintű változásokat idéznek elő a szervezetben. Az immunológiai folyamatok részletesebb elemzése hozzájárulhat a terápiás hatásmechanizmus pontosabb megértéséhez és a kezelések tudományos megalapozottságának erősítéséhez.

Anyagi támogatás: A szerzők a dolgozat megírása során nem részesültek anyagi támogatásban.

Szerzői munkamegosztás: A közlemény elkészítéséhez a szerzők azonos mértékben járultak hozzá. A közlemény végleges változatát mindkét szerző elolvasta és jóváhagyta.

Érdekltségek: A szerzőknek nincsenek érdekltségeik.

Irodalom

- [1] Ong KL, Santomauro DF, Bhoomadevi A, et al. Burden of 375 diseases and injuries, risk-attributable burden of 88 risk factors, and healthy life expectancy in 204 countries and territories, including 660 subnational locations, 1990–2023: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2023. *Lancet* 2025; 406: 1873–1922.
- [2] Szeifert NM, Vágó H, Gonda X. Physical activity as the basic pillar of lifestyle medicine. [A testmozgás, mint az életmórvosulás alappillére.] *Orv Hetil.* 2024; 165: 1683–1693. [Hungarian]
- [3] Meyer-Lindemann U, Moggio A, Dutsch A, et al. The impact of exercise on immunity, metabolism, and atherosclerosis. *Int J Mol Sci.* 2023; 24: 3394.
- [4] Kasuhik H. Effect of exercise on different factors affecting the immune system. *Comparative Exercise Physiology* 2024; 20: 1–13.
- [5] Lu Z, Wang Z, Zhang XA, et al. Myokines may be the answer to the beneficial immunomodulation of tailored exercise. *Narrative review. Biomolecules* 2024; 14: 1205.
- [6] Fiuza-Luces C, Valenzuela PL, Gálvez BG, et al. The effect of physical exercise on anticancer immunity. *Nat Rev Immunol.* 2024; 24: 282–293.
- [7] Wang Z, Xu J, Mo L, et al. The application potential of the regulation of Tregs function by irisin in the prevention and treatment of immune-related diseases. *Drug Des Devel Ther.* 2024; 18: 3005–3023.
- [8] Newman JE, King I, Flemming N, et al. The acute response of irisin to resistance and endurance exercise at both lower and higher intensities in healthy. *Exp Gerontol.* 2025; 209: 112850.
- [9] Dong G, He X, He J, et al. Impact of aerobic exercise on immune components across healthy and diseased populations: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Exerc Sci Fit.* 2025; 23: 435–450.
- [10] Lesnak JB, Berardi G, Sluka KA. Influence of routine exercise on the peripheral immune system to prevent and alleviate pain. *Neurobiol Pain* 2023; 13: 100126.
- [11] Bettariga F, Taaffe DR, Galvão DA, et al. Exercise training mode effects on myokine expression in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *J Sport Health Sci.* 2024; 13: 764–779.
- [12] Kupovits TR, Mándó Z, Kulisch Á. The role of exercise therapy in the comprehensive care of patients with rheumatoid arthritis. [A mozgásterápia szerepe a rheumatoid arthritises betegek komplex ellátásában.] *Orv Hetil.* 2025; 166: 1574–1581. [Hungarian]
- [13] Patterson SL, Sun S, Rychkov D. Physical activity associates with lower systemic inflammatory gene expression in rheumatoid arthritis. *J Rheumatol.* 2022; 49: 1320–1327.
- [14] Balchin C, Tan AL, Wilson OJ, et al. The role of microRNAs in regulating inflammation and exercise-induced adaptations in rheumatoid arthritis. *Rheumatol Adv Pract.* 2023; 7: rkac110.
- [15] Gündüz Gül YÖ, Bal A, Erdem ÜG. Is there an anti-inflammatory effect of aerobic exercises on axial spondyloarthritis patients? A prospective, randomized-controlled trial. *Arch Rheumatol.* 2025; 40: 98–111.
- [16] De Oliveira DS, Bruna Pires Borges I, Kazue Nagahashi Marie S, et al. Exercise training attenuates skeletal muscle fat infiltration and improves insulin pathway of patients with immune-mediated necrotizing myopathies and dermatomyositis. *Arch Rheumatol.* 2022; 38: 189–199.
- [17] Spinelli FR, Berti R, Farina G, et al. Exercise-induced modulation of Interferon-signature: a therapeutic route toward management of systemic lupus erythematosus. *Autoimmun Rev.* 2023; 22: 103412.
- [18] Hashemi S, Habibagahi Z, Heidari M, et al. Effects of combined aerobic and anaerobic exercise training on cytokine profiles in patients with systemic lupus erythematosus (SLE); a randomized controlled trial. *Transpl Immunol.* 2022; 70: 101516.
- [19] Patterson SL, Van Phan H, Ye CJ, et al. Physical inactivity exacerbates pathologic inflammatory signaling at the single cell level in patients with systemic lupus. *EBioMedicine* 2024; 110: 105432.
- [20] Coskun Benlidayi I, Gupta L, Parihar J, et al. Exercise for improving bone health in patients with AIRDs: understanding underlying biology and physiology. *Int J Rheum Dis* 2024; 27: e15402.
- [21] Scudese E, Marshall AG, Vue Z, et al. 3D mitochondrial structure in aging human skeletal muscle: insights into MFN-2-mediated changes. *Aging Cell.* 2025; 24: e70054.
- [22] Li J, Bai J, Liu G, et al. Exercise intervention in autonomic function, immunity, and cardiovascular health: a precision medicine approach. *J Cardiovasc Dev Dis.* 2025; 12: 247.
- [23] Sun Y, Liu Y. Circulating cytokines mediate the protective effect of physical activity on cardiovascular diseases: a Mendelian randomization mediation analysis. *Int J Mol Sci.* 2025; 26: 4615.
- [24] Bender T, Szekanez É, Gomez I, et al. Physical therapy of cancer patients – narrative review and expert opinion. [Daganatos

- beteg fizioterápiája – narratív összefoglaló és szakértői vélemény.] *Magy Onkol.* 2025; 69: 80–88. [Hungarian]
- [25] Huang CC, Chu YC, Chen WD, et al. A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials on the effects of high-intensity interval training in breast cancer survivors. *Clin Rehabil.* 2025; 39: 1562–1588.
- [26] Cho E, Chodzko M, Compton SL, et al. Effects of aerobic exercise on body composition and exerkines in colorectal cancer survivors. *Front Sports Act Living* 2025; 7: 1579221.
- [27] Chen J, Li Y, Wang L, et al. The molecular mechanisms of exercise in cancer prevention and management. *Eur J Cancer Prev.* October 20, 2025. DOI: 10.1097/CEJ.0000000000000989.
- [28] Leuchte K, Trommer M, Holmen Olofsson G, et al. The cancer-immunity cycle in motion: The effects of exercise on antitumor immunity. *Immunol Lett.* 2026; 277: 107101.
- [29] Zhou X, Jiang J, Liu J, et al. Aerobic exercise-induced lactate production: a novel opportunity for remodeling the tumor microenvironment. *Front Genet.* 2025; 16: 1620723.
- [30] Khojakulova U, Yessirkepov M, Zimba O, et al. Massage therapy in rheumatoid arthritis. *Rheumatol Int.* 2025; 45: 76.
- [31] Al Balah OF, Rafie M, Osama AR. Immunomodulatory effects of photobiomodulation: a comprehensive review. *Lasers Med Sci.* 2025; 40: 187.
- [32] Rathod DG, Muneer H, Masood S. Phototherapy. 2023 Feb 16. In: *StatPearls Internet.* StatPearls Publishing, Treasure Island, FL, 2025 Jan.
- [33] Salehi MR, Reisi J, Marandi SM, et al. Effect of whole-body electrical muscle stimulation training on inflammatory and anti-inflammatory cytokines in overweight men. *J Obes Metab Syndr.* 2024; 33: 270–274.
- [34] Sheng Y, Yuan H, Chen Let, al. The effects of high and low dose extracorporeal shockwave therapy on immune activation and immunosuppressive markers in elderly patients with osteoarthritis: a study protocol for a randomized controlled trial. *Am J Clin Exp Immunol.* 2023; 12: 164–172.
- [35] Zhang M, Ma Z, Suguro R, et al. Assessment of clinical analgesic levels and serum biomarkers in patients with rheumatoid arthritis: a randomized controlled trial comparing the efficacy of diclofenac and methotrexate combined therapy with extracorporeal shockwave therapy. *Pain Res Manag.* 2024: 6687987, 18 pages. 21 August 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/6687987>
- [36] Pilch W, Szarek M, Czerwińska-Ledwig O, et al. The effects of a single and a series of Finnish sauna sessions on the immune response and HSP-70 levels in trained and untrained men. *Int J Hyperthermia* 2023; 40: 2179672.
- [37] Silva J, Martins J, Nicomédo C, et al. A novel approach to assess balneotherapy effects on musculoskeletal diseases – an open interventional trial combining physiological indicators, biomarkers, and patients’ health perception. *Geriatrics (Basel)* 2023; 8: 55.
- [38] Gálvez I, Torres-Piles S, Ortega E. Innate/inflammatory bioregulation and clinical effectiveness of whole-body hyperthermia (balneotherapy) in elderly patients with osteoarthritis. *Int J Hyperthermia* 2018; 35: 340–347.
- [39] Eckert D, Evic M, Schang J, et al. Osteo-immunological impact of radon spa treatment: due to radon or spa alone? Results from the prospective, thermal bath placebo-controlled RAD-ON02 trial. *Front Immunol.* 2024; 14: 1284609.
- [40] Crucianelli S, Mariano A, Valeriani F, et al. Effects of sulphur thermal water inhalations in long-COVID syndrome: spa-centred, double-blinded, randomised case-control pilot study. *Clin Med (Lond).* 2024; 24: 100251.
- [41] Ortega-Collazos E, Otero E, López-Jurado C, et al. Neuroimmunomodulation induced by mud-bath therapy: clinical benefits and bioregulation of the innate/inflammatory responses induced by a peloid enriched with rosmarinic acid in elderly patients with osteoarthritis. *Int J Biometeorol.* 2025; 69: 2115–2124.
- [42] Vaccarezza M, Vitale M, Falletta P, et al. Natural sulfur compounds in mineral waters: implications for human health and disease. *Int J Mol Sci.* 2025; 26: 10807.
- [43] Pozzi G, Gobbi G, Masselli E. Buffering adaptive immunity by hydrogen sulfide. *Cells* 2022; 11: 325.
- [44] Kulisch Á, Mándó Z, Sándor E, et al. Evaluation of the effects of Lake Hévíz sulfur thermal water on skin microbiome in plaque psoriasis: an open label, pilot study. *Int J Biometeorol.* 2023; 67: 661–673.
- [45] Bender T, Kalics G, Árvai K, et al. The effects of Lakitelek thermal water and tap water on skin microbiome, a randomized control pilot study. *Life (Basel)* 2023; 13: 746.
- [46] He J, Zhang X, Ge Z, et al. Whole-body cryotherapy can reduce the inflammatory response in humans: a meta-analysis based on 11 randomized controlled trials. *Sci Rep.* 2025; 15: 7759.
- [47] Klemm P, Hoffmann J, Asendorf T, et al. Whole-body cryotherapy for the treatment of rheumatoid arthritis: a monocentric, single-blinded, randomised controlled trial. *Clin Exp Rheumatol.* 2022; 40: 2133–2140.
- [48] Stanek A, Romuk E, Wielkoszyński T, et al. The impact of whole-body cryotherapy on endothelium parameters in patients with ankylosing spondylitis. *Antioxidants (Basel)* 2023; 12: 521.

(Bender Tamás dr.,
Budapest, Frankel Leó út 25–29., 1023
e-mail: bender.tamas@t-online.hu)