

# FIZINIO AKTYVUMO ĮTAKA SMEGENŲ NEUROPLASTIŠKUMUI. LITERATŪROS APŽVALGA

**Laura Gulbinaitė**

Vilniaus universiteto Medicinos fakulteto Reabilitacijos, fizinės ir sporto medicinos katedra

## SANTRAUKA

**Tikslas** – atlikti mokslinės literatūros apžvalgą apie ląstelinius ir molekulinis mechanizmus, kuriais grindžiamas fizinio aktyvumo poveikis smegenų neuroplastiškumui.

**Metodai.** Literatūros šaltinių apžvalga atlikta duomenų bazėje PubMed. Literatūros paieška atlikta anglų kalba pagal reikšminius žodžius ir jų junginius: *neuroplasticity, brain plasticity, physical exercise, physical activity*. Duomenų bazėje rastos 3 927 publikacijos anglų kalba. Straipsniai atrinkti pagal tris kriterijus: pavadinimą, santrauką, teksto išsamumą (visateksčiai). Atrinktas ir išsamiai išanalizuotas 31 mokslinis straipsnis, publikuotas 2019–2024 m. Šaltiniams nagrinėti taikyta aprašomoji analizė.

**Rezultatai.** Fizinis aktyvumas teigiamai veikia smegenų funkciją per įvairius mechanizmus. Fizinis aktyvumas didina neurotrofinių veiksnių, būtinų neuronų išlikimui ir regeneracijai, gamybą. Jis didina sinapsinį plastiškumą, mažina oksidacinį stresą ir skatina mitochondrijų aktyvumą, o visa tai prisideda prie kognityvinių funkcijų gerėjimo ir atsparumo su amžiumi susijusiam neurologinių funkcijų blogėjimui bei neurodegeneracinėms ligoms. Fizinis aktyvumas mažina uždegiminių citokinų kiekį, stiprina priešuždegimines reakcijas ir gerina neuronų ryšius.

**Išvados.** Fizinis aktyvumas yra naudinga priemonė, padedanti pagerinti neuroplastiškumą ir kognityvinę būklę nepriklausomai nuo amžiaus. Jis skatina palankius molekulinis ir ląstelinius pokyčius smegenyse, skatina neurogenezę, sinapsinį plastiškumą ir bendrą smegenų sveikatą. Fizinis aktyvumas taip pat skatina teigiamus smegenų struktūrinės morfologijos pokyčius, aktyvina atitinkamas funkcines smegenų sritis ir skatina adaptyvius elgesio pokyčius. Reguliarus fizinis aktyvumas yra labai svarbus norint palaikyti kognityvines funkcijas ir sušvelninti su senėjimu susijusius neurodegeneracinius procesus.

Aerobinės, jėgos ir didelio intensyvumo intervalinės treniruotės teigiamai veikia smegenų sveikatą, tačiau jų poveikio mechanizmai ir trukmė yra skirtingi. Nepaisant įtikinamų įrodymų, patvirtinančių neuroprotekcinių fizinio krūvio poveikį, sporto medicinos ir reabilitacijos srityje vis dar diskutuojama apie tai, kaip skirtingi neuroprotekciniai mechanizmai veikia kiekvieno konkretaus fizinio treniruočių tipo ir intensyvumo metu.

**Reikšminiai žodžiai:** neuroplastiškumas, smegenų plastiškumas, fizinis aktyvumas.

## ĮVADAS

Neuroplastiškumas, dar vadinamas nervų plastiškumu arba smegenų plastiškumu, yra procesas, apimantis adaptyvius struktūrinius ir funkcinius smegenų pokyčius. Tai nervų sistemos gebėjimas keisti savo veiklą reaguojant į vidinius ar išorinius dirgiklius (fiziologinius pokyčius, traumas, naujos aplinkos veiksmus ir jutiminę patirtį), pertvarkant savo struktūrą, funkcijas ar jungtis [1, 2]. Neuroplastiškumas susideda iš dviejų pagrindinių mechanizmų: neuronų regeneracijos ir

(arba) kolateralių augimo, kuris apima tokias sąvokas kaip sinapsinis plastiškumas ir neurogenezė, ir funkcinės reorganizacijos, kuri apima tokias sąvokas kaip

**Adresas susirašinėti:** Laura Gulbinaitė  
Vilniaus universiteto Medicinos fakulteto  
Reabilitacijos, fizinės ir sporto medicinos katedra  
Žirmūnų g. 124, 09123, Vilnius  
El. paštas [laura.gulbinaite@mf.vu.lt](mailto:laura.gulbinaite@mf.vu.lt)

lygiavertiškumas, vikarizacija ir diašizė. Šie pokyčiai gali būti naudingi (pvz. funkcijos atkūrimas po sužalojimo), neutralūs (jokių pokyčių) arba neigiami (gali turėti patologinių pasekmių) [1].

Klinikiniu požiūriu galima taikyti keletą gydymo būdų, padedančių valdyti neuroplastiškumą atkuriant funkciją ir gydant nepageidaujamus simptomus. Neuroplastiškumas vaidina esminį vaidmenį, nulemiantį neurologinės reabilitacijos rezultatus. Tęsiant mokslinius tyrimus, kurių metu tiriamos funkcinės smegenų jungtys ir tai, kas daro įtaką šioms jungtims, atsiranda vis daugiau galimybių sukurti tikslingesnius gydymo būdus, padedančius smegenims greičiau ir visapusiškiau atgauti funkcijas [1, 3].

Mokslinių tyrimų metu nustatyta, kad fizinis aktyvumas turi svarbų poveikį žmogaus smegenų sveikatai bet kuriame amžiuje. Todėl fiziniai pratimai rekomenduojami kaip nefarmakologinė priemonė įvairiems patologiniams sutrikimams gydyti ir bendrai sveikatos būklei palaikyti. Įrodyta, kad tiek išvermės treniruotės (ilgalaikė aerobinė veikla), tiek jėgos treniruotės su pasipriešinimu (pratimai, kurių metu vyrauja stūmimas prieš jėgą) skatina cirkuliuojančių augimo faktorių ir neurotrofinų, kurie veikia smegenis tiek vystymosi metu, tiek suaugusiems žmonėms, padidėjimą. Tie patys veiksniai gali turėti įtakos tiek jaunų, tiek suaugusių žmonių smegenų plastiškumui įvairiomis sąlygomis, pavyzdžiui, fiziologinio senėjimo, neurodegeneracinių patologijų ir atsigavimo po ūmaus smegenų pažeidimo metu [4, 5].

Šios literatūros apžvalgos tikslas – apžvelgti ląstelinius ir molekulinis mechanizmus, kuriais grindžiamas fizinio aktyvumo poveikis smegenų neuroplastiškumui.

## METODIKA

Atlikta literatūros apžvalga, kurios metu buvo atrinkti straipsniai, susiję su fizinio aktyvinimo įtaka smegenų neuroplastiškumui. Mokslinių šaltinių paieška atlikta duomenų bazėje *PubMed* naudojant reikšminius žodžius ir jų derinius: *neuroplasticity*, *brain plasticity*, *physical exercise*, *physical activity*. Iš viso rastos 3 927 publikacijos anglų kalba. Remiantis PRISMA (angl. *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses*) rekomendacijomis atlikta straipsnių atranka. Straipsniai atrinkti pagal tris kriterijus: pavadinimą, santrauką, teksto išsamumą. Dėl netinkamo pavadinimo,

temos neatitikimo, negautų visateksčių publikacijų ir publikacijų dubliavimosi atmeti 3 896 straipsniai. Atrinktas ir išsamiai išanalizuotas 31 mokslinis straipsnis, publikuotas 2019–2024 m. Vertinti kiekybiniai ir kokybiniai tyrimai, įtrauktos literatūros apžvalgos, metaanalizės ir sisteminės analizės. Šaltiniams nagrinėti taikyta aprašomoji analizė.

## REZULTATAI

### Fizinių pratimų nauda: smegenų sveikatos perspektyvos

Fizinis aktyvumas apibrėžiamas kaip bet kuris kūno judesys, kurį atlieka skeleto raumenys ir kuriam reikalingos energijos sąnaudos. Fizinis aktyvumas kasdieniame gyvenime gali būti skirstomas į sportinę, profesinę, buitinę, kasdienę ar kitą veiklą. Fiziniai pratimai skiriasi priklausomai nuo fizinio aktyvumo. Tai fizinio aktyvumo pogrupis, reiškiantis suplanuotą, organizuotą, pasikartojančią ir tikslingą fizinę veiklą, kurios galutinis arba tarpinis tikslas – pagerinti arba palaikyti fizinį adaptyvumą. Nors įrodyta, kad beveik visų rūšių fiziniai pratimai yra naudingi smegenų funkcijai, aerobiniai pratimai sulaukė didelio dėmesio dėl savo teigiamo poveikio hemodinamikai ir neuroplastiškumui. Pastaraisiais dešimtmečiais atsirado įrodymų, kad tam tikra stimuliacija, pavyzdžiui, aplinkos pokyčiai, fiziniai pratimai ar kognityvinės treniruotės vėl suaktyvina suaugusio žmogaus naujosios žievės (lot. *neocortex*) plastiškumą, keičia žievės grandžių veiklą ir smegenų struktūrą bei funkciją, o tai leidžia manyti, kad smegenų plastiškumas gali išlikti visą gyvenimą. Svarbu paminėti, kad fizinis aktyvinimas yra ekonomiškai metodas, turintis didelį potencialą aktyvinti neuroplastiškumą. Fiziniai pratimai gali sukelti molekulinis ir ląstelinius procesus, kurie palaiko smegenų plastiškumą, taip prisidedami prie pažintinių funkcijų gerinimo ir pasipriešinimo smegenų funkcijų silpnėjimui, kurį sukelia senėjimas ar nervų sistemos ligos [6].

Neurotrofiniai faktoriai (tokie kaip smegenų kilmės neurotrofinis faktorius (BDNF), nervų augimo faktorius (NGF), glijos ląstelių linijos neurotrofinis faktorius (GDNF), neurotrofinas 3 (NT-3) ir neurotrofinas 4 (NT-4)) – tai augimo faktoriai, kurie gali puoselėti neuronus ir skatinti neuronų išlikimą bei regeneraciją. Manoma, kad jie gali būti pagrindiniai fizinio krūvio ir kognityvinės funkcijos mo-

duliatoriai. Šių neurotrofinių faktorių gamyba padidėja atliekant fizinius pratimus, sumažėja sergant neurodegeneracinėmis ligomis (pvz. Parkinsono liga, išsėtinė skleroze, Hantingtono liga), o tai rodo, kad jie labai svarbūs smegenų sveikatai palaikyti. Kitas pirminis funkcinis pokytis, galintis tiesiogiai paveikti smegenų plastiškumą, yra sumažėjęs sinapsių skaičius, dėl kurio gali būti sunkiau pasiekti pakankamą sąveikaujančių aktyvių sinapsių skaičių, kuris būtinas tinklo modifikacijai. Manoma, kad ankstyvosios Alzheimerio ligos atveju lengvas kognityvinis sutrikimas gali atsirasti dėl sinapsinės disfunkcijos, kurią sukelia nefibrilinio, oligomerinio A $\beta$  baltymo kaupimasis, atsirandantis prieš plačiai paplitusį sinapsių nykimą ir neurodegeneraciją. Smegenų plastiškumo palaikymas taip pat priklauso nuo nervinio audinio. Progresuojant su amžiumi susijusioms neurodegeneracinėms ligoms, pradeda mažėti smegenų nervinio audinio kiekis ir funkcija, pavyzdžiui, sumažėja mikroglijos fagocitinis pajėgumas, vystosi astrocitu hiperplazija ir mikrovaskuliniai pokyčiai hipokampo dantytajame vingyje (lot. *gyrus dentatus*) [7–9].

Žmogui senstant smegenų funkcijos silpnėjimas yra neišvengiamas, tačiau nervinis audinys pasižymi plastiškumo ir regeneracijos gebėjimu, kuris gali pasipriešinti fiziologiniam ir patologiniam neurodegeneracinių ligų progresavimui. Nustatyta keletas mechanizmų, paaiškinančių fizinio krūvio poveikį smegenų funkcijai, ypač nuo fizinio krūvio priklausanti centrinė ir periferinė reguliacija, susijusi su keletu augimo faktorių, kurie dalyvauja neurogenezėje, metabolizmo ir vaskuliarizacijos procesuose. Fiziniai pratimai naudingi smegenų funkcijai, nes gerina hipokampo funkciją, didina neurotrofinių veiksnių kiekį ir gerina sinapsinį plastiškumą [7, 8].

Dvi pagrindinės hipotezės, paaiškinančios pagrindinį fizinio pratimų įtakos neuroplastiškumui mechanizmą: a) fizinis aktyvumas mažina lėtinį oksidacinį stresą ir skatina mitochondrijų biogenę bei autofagijos reguliavimą; b) fiziniai pratimai skatina neurotransmiterių, tokių kaip dopaminas, ir trofinių veiksnių, tokių kaip GDNF, į insuliną panašus augimo faktorius 1 (IGF-1), BDNF ir fibroblastų augimo faktorius 2 (FGF-2), sintezę [9, 10].

Fizinis aktyvinimas veikia daugelį neurofiziologinių aspektų, tokių kaip autofagija, neuronų plastiškumas, neurogenezė, antioksidacinės apsaugos mechanizmai

ir kt. Jis taip pat mažina neuronų apoptozę ir neurodegeneraciją. Reguliarus fizinis aktyvumas yra veiksmingas autofagijos induktorius ir gerina neurologines funkcijas. Be to, fiziniai pratimai gali padidinti kortikalinį ir spinalinį jaudrumą ir teigiamai paveikti funkcinis ryšius, pilkosios medžiagos tankį ir baltosios medžiagos mikrostruktūrą motorinėse srityse. Fizinio treniruočių sukeliama neuroplastiniai pokyčiai žmogaus smegenyse priklauso nuo individualių asmens savybių, todėl tarp skirtingų pacientų gali skirtis [9, 10].

### Fizinio aktyvinimo sukulto neuroplastiškumo molekuliniai mechanizmai

Tarp tarpininkų, atsakingų už teigiamą fizinio pratimų poveikį smegenų sveikatai, neabejotinai pirmąją neurotrofinai, nes jie dalyvauja daugybėje procesų, skatinančių struktūrinį ir funkcinį smegenų plastiškumą. Iš labiausiai ištirtų neurotrofinių, kurių neuroprotektinis vaidmuo buvo įrodytas moksliniais tyrimais, daugiausia dėmesio skiriama smegenų kilmės neurotrofiniam faktoriui, nervų augimo faktoriui, glijos ląstelių linijos neurotrofiniam faktoriui, neurotrofinui 3 ir neurotrofinui 4, kurie skatina neurogenę, neuroreguliaciją, sinapsių regeneraciją, neuroprotekciją ir neuronų išlikimą [8, 9, 11–18, 27–29].

BDNF atlieka svarbų vaidmenį neurogenės, neuronų išlikimo, proliferacijos ir diferenciacijos procesuose. Pagrindinis mechanizmas – subrendęs BDNF (mBDNF) gali jungtis prie tropomiozino receptoriaus kinazės B (TrkB) receptoriaus, aktyvuoti tokius signalinius kelius kaip mitogeno aktyvuota baltymų kinazė (MAPK), fosfolipazė C- $\gamma$  (PLC- $\gamma$ ), fosfatidilinozitolio 3-kinazė (PI3K)/Akt fermentas (Akt, taip pat žinomas kaip baltymų kinazė B), aktyvuoja transkripcijos faktorių ciklinį adenozinmonofosfato (cAMP) atsako elementą surišantį baltymą, veikiantį antiapoptozę ir citoskeleto baltymų sintezę. Neuronų susidarymas, diferenciacija ir vystymasis yra aktyvesni tokiose srityse kaip hipokampus, smegenėlės ir smegenų žievė, kur BDNF atlieka svarbų vaidmenį. BDNF reguliuoja sinapsių formavimąsi ir augimą, skatina sinaptogenę, taip pat BDNF stimuliuoja kraujagyslių endotelio augimo faktoriaus transkripciją, kuris savo ruožtu dalyvauja neoangiogenozėje. Be to, BDNF pasižymi neuroprotektiniu poveikiu esant nepalankioms sąlygoms, pavyzdžiui, glutamato eksitotoksi-

kumui, neurotoksinei stimuliacijai ir smegenų išemijai. BDNF taip pat yra pagrindinė smegenų mokymosi ir atminties molekulė, atliekanti svarbų vaidmenį pažintinių funkcijų gerinimui ir užkertanti kelią neurodegeneraciniams pokyčiams. BDNF gali skatinti nervų kamieninių ląstelių diferenciaciją į astroцитus ir oligodendroцитus, todėl yra laikomas pagrindiniu neuroglijos vystymosi veiksniumi [7–9, 13, 27, 29].

IGF-1, kaip ir BDNF, skatina neuronų augimą, išlikimą ir diferenciaciją. Mokslinių tyrimų metu nustatyta, kad jo koncentracija vyresnio amžiaus žmonių kraujyje padidėja po 6 mėnesių vidutinio ir didelio intensyvumo jėgos treniruočių [13, 14].

Fiziniai pratimai skatina GDNF raišką. GDNF yra 134 aminorūgščių baltymas, svarbus dėl savo gebėjimo skatinti dopamino įsisavinimą vidurinių smegenų dopaminerginiuose neuronuose, užtikrinant jų išlikimą ir diferenciaciją [8].

Fiziniai pratimai gali pakeisti arba užkirsti kelią gabaerginių ir glicinerinių signalų sutrikimų atsiradimui kelių patologijų, įskaitant epilepsiją, neuropatinį skausmą, nerimą ir stuburo smegenų pažeidimą, atveju. Įrodyta, kad aerobinė treniruotė sumažina glutamato rūgšties dekarboksilazės 67 (GAD67), glicino receptorių ir A tipo gama amino sviesto rūgšties receptorių (GABA-AR) raišką juosmeniniuose nugaros smegenų segmentuose iki nepažeisto smegenų lygio po traumos [16].

Irizino gebėjimas aktyvuoti esminius antrinių pernešėjų kelius, kurie yra susiję su autofagijos reguliavimu, leidžia manyti, kad irizinas gali moduluoti autofagiją neuronų ir glijos ląstelėse. Autofagijos moduliavimas ne tik palaiko nespecifinį ląstelės struktūros pertvarkymą, bet ir skatina neuroplastiškumą [7, 24].

### Fizinio aktyvumo sukeltas priešuždegiminis poveikis

Fiziniai pratimai mažina prouždegiminių citokinų (pvz. interleukino 6 (IL-6), naviko nekrozės faktoriaus alfa (TNF- $\alpha$ ), C reaktyviojo baltymo (CRP)) kiekį ir didina priešuždegiminių citokinų kiekį. Periferijoje fizinis krūvis mažina IL-6 kiekį žmogaus plazmoje, kartu didindamas gliukozės gamybą ir gliukozės pasisavinimą. Tiek su gyvūnais, tiek su žmonėmis atliktų tyrimų rezultatai parodė, kad fiziniai pratimai mažina prouždegiminių žymenų, įskaitant TNF- $\alpha$  ir IL-6, kiekį ir padidina neurotrofinių veiksmų kiekį. Taigi fiziniai

pratimai turi priešuždegiminį poveikį, dėl kurio gali sumažėti neurouždegimas ir sustiprėti neurogenezė bei pagerėti kognityvinės funkcijos. Taip pat fiziniai pratimai apsaugo nuo lipopolisacharido (LPS) sukeltą neurouždegimo ir su juo susijusių kognityvinių funkcijų sutrikimų. Ši apsauga susijusi su IL-1 $\beta$ , TNF $\alpha$  ir IL-10 mRNA raiškos hipokampe sumažėjimu, o tai rodo, kad sumažėjęs mikroglijos prouždegiminis atsakas yra pagrindinis mechanizmas, kuriuo fiziniai pratimai gali apsaugoti centrinę nervų sistemą [19–21].

### Laktato dalyvavimas gerinant neuroplastiškumą

Fizinio krūvio metu, kai dirbantis raumuo susitraukia tam tikru intensyvumu (šis kritinis taškas dar vadinamas laktato slenksčiu), raumuo gamina laktatą ir išskiria jį į kraują, o dalis kraujo laktato, veikiant monokarbonsirūgščių pernešikliui, gali prasiskverbti pro hematoencefalinį barjerą ir patekti į smegenis. Moksliniai tyrimai, pagrįsti laktato kinetiniu vertinimu, patvirtino, kad smegenų kraujyje cirkuliuojantis laktatas yra pagrindinis smegenų energetinis substratas fizinio krūvio metu, tai įrodo padidėjęs laktato panaudojimo greitis ir sumažėjęs gliukozės panaudojimo greitis. Atitinkamai astroцитų išskiriamas laktatas taip pat yra būtinas daugeliui svarbių smegenų funkcijų palaikyti. Jis per monokarbonsirūgščių pernešiklį išsisklaido ekstraląstelinėje erdvėje, suteikdamas neuronams energijos šaltinį neuronų funkcijoms palaikyti. Laktatas pasižymi pleiotropiniu poveikiu smegenyse. Tyrimai rodo, kad laktatas gali veikti kaip molekulinis signalas, kurį tam tikrais mechanizmais naudoja specifiniai neurotrofiniai veiksniai neurogenезei ar smegenų kraujagyslių plastiškumui aktyvuoti. Tyrimai parodė, kad laktatas gali aktyvuoti PGC-1 $\alpha$  / FNDC5 / BDNF (peroksisomų proliferatoriaus aktyvinto gama receptoriaus koaktyvatoriaus 1 $\alpha$  / fibronektino III tipo domeną turinčio baltymo 5 / smegenų kilmės neurotrofinio faktoriaus) kelią nuo sirtuino 1 (SIRT1) priklausomu būdu. Padidėjusi laktato koncentracija kraujyje dažnai koreliuoja su BDNF koncentracijos padidėjimu serume, motorinės žievės sužadynamumu ir motoriniu mokymusi. Mokslinių tyrimų metu nustatyta, kad laktatas taip pat skatina su plastiškumu susijusių genų raišką, nes stiprina N-metil-D-aspartato (NMDA) glutamato receptorių aktyvumą neuronuose. Be to, laktatas didina viduląstelinį nikotinamido adenino dinukleotidų (NADH) ir kalcio kiekį.

Tai galėtų būti pagrindinis neuroplastiškumo, kurį sukelia astrocitu laktatas, mechanizmas. Padidėjęs intraląstelinio kalcio kiekis po laktato sukeltos padidėjusio NMDA receptorių aktyvumo gali būti ryšys tarp fizinio krūvio ir BDNF ekspresijos [6, 10, 21].

### Fiziniai pratimai gerina sinapsinį plastiškumą

Sinapsinis plastiškumas, pagrindinė neuronų savybė, pasireiškia nuo veiklos priklausančiais jau esamų neuronų jungčių sinapsinio perdavimo stiprumo ir efektyvumo pokyčiais. Teigiamas fizinio aktyvumo poveikis pastebėtas ypač vyresnio amžiaus žmonėms, nes reguliarus fizinis aktyvumas siejamas su geresniais atminties procesais ir vykdomosiomis funkcijomis smegenyse, mažesniu su amžiumi susijusiu kognityvinių funkcijų blogėjimu ir didesne apsauga nuo su amžiumi susijusios atrofijos smegenų srityse, svarbiose aukštesniems kognityviniams procesams. Tyrimai su vyresnio amžiaus žmonėmis parodė, kad įvairių rūšių fiziniai pratimai, įskaitant ištvermės, pusiausvyros pratimus, bėgiojimą ir vaikščiojimą, lengvus pratimus, turi teigiamą poveikį smegenų struktūrai, funkcijoms ir jungtims. Treniruotės, ypač aerobinės, didina vyresnio amžiaus žmonių priešaktyvumą žievės pilkosios ir baltosios medžiagos tūryje, taip pat hipokampo ir vidinės smilkininės skilties apimtį, gerina erdvinę atmintį ir mažina kognityvinių sutrikimų riziką [8, 13].

Fiziniai pratimai keičia mikroglijos tankį, morfologinę išvaizdą ir molekulinį profilį. Mikroglija taip pat atlieka svarbų vaidmenį eliminuojant nenormalią baltymų agregaciją smegenyse sergant neurodegeneracinėmis ligomis. Naujausių tyrimų duomenimis, mikroglija dalyvauja gerinant sinapsinį plastiškumą per TREM2 kelią po aerobinių pratimų. Gliukozės apykaita mikroglijoje taip pat svarbi normaliai kognityvinei smegenų funkcijai palaikyti. Fizinis aktyvumas taip pat didina mikroglijos proneurogeninio augimo faktoriaus IGF-1 gamybą, kuris gali tarpininkauti vietinių mikroglijos ir nervinių ląstelių pirmtakų ryšių palaikymui [7, 22].

### Fiziniai pratimai gerina mitochondrijų būklę

Mitochondrijos atlieka svarbiausias funkcijas neuronuose, o mitochondrijų būklė turi tiesioginės įtakos neuronų vystymuisi, funkcijai ir išlikimui. Įrodyta, kad

fiziniai pratimai skatina mitochondrijų biogenezę, palaiko neuronų mitochondrijų pusiausvyrą, kinetiką (sintezę / dalijimąsi), autografiją bei mažina per didelį oksidacinį stresą, kurį sukelia mitochondrijų pažeidimai, ir gerina adenosino trifosfato (ATP) gamybą [7, 23].

### Fiziniai pratimai moduliuoja jonų kanalus ir daro įtaką neurotransmiterių reguliacijai

Daugelis mokslinių tyrimų patvirtino, kad įvairūs jonų kanalai dalyvauja reguliuojant neuronų plastiškumą ir jaudrumą fizinio krūvio metu arba po fizinio krūvio. Pagrindiniams jonų kanalams, reaguojantiems į fizinį krūvį, priskiriami: pereinamieji natrio kanalai, pastovieji natrio kanalai, L tipo kalcio kanalai, uždelstojo išlyginimo kalio kanalai ir kalcio veikiami kalio jonų kanalai [26].

Natrio kanalai lemia veikimo potencialo susidarymo slenkstį ir labai prisideda prie neuronų veiklos reguliavimo. Nuolatiniai natrio kanalai prisideda prie nuolatinės srovės susidarymo ir atlieka svarbų vaidmenį nugaros smegenų interneuronų ir smegenų kamieno seratoninerginių neuronų plastiškumo procese. Nuolatiniai natrio kanalai reguliuoja V motoneurono ir pasikartojantį spinalinių motoneuronų, interneuronų, hipokampo neuronų ir smegenų kamieno seratoninerginių neuronų sužadimą. Natrio kanalai gali prisidėti prie valandą trunkančio transspinalinės stimuliacijos kartu su epidurine poliarizacija poveikio, o tai rodo, kad jie taip pat vaidina svarbų vaidmenį reabilitacijos procese. Natrio kanalai padeda judėjimo sistemai lengviau prisitaikyti prie fizinio krūvio [26].

L tipo kalcio kanalai yra labai svarbūs neuronų funkcijos, judesių kontrolės ir judamojo aparato adaptavimui atsako į fizinį krūvį modulatoriai. Moksliniuose tyrimuose pabrėžiamas L tipo kalcio kanalų vaidmuo reguliuojant motoneuronų sužadimumą, įdarbinimą ir motorinį efektą judėjimo metu. Taip pat įrodyta, kad L tipo kalcio kanalai stiprina sinapsinį sužadimą, didina sužadimo dažnį ir palaiko nepertraukiamą jaudinimą nugaros smegenų neuronuose. Naujausi tyrimai atskleidė, kad 3 savaičių trukmės treniruotės ant bėgimo takelio (angl. *treadmill exercise*) sustiprina L tipo kalcio kanalų aktyvumą plokšteliniuose X interneuronuose ir seratoninerginiuose neuronuose, esančiuose nugariniuose siūlės branduoliuose [26].



Uždelstojo išlyginimo kalio kanalai vaidina svarbų vaidmenį moduluojant stuburo motoneuronus. Jie taip pat reguliuoja įvairias membranos ypatybes, įskaitant veikimo potencialo amplitudę ir trukmę, sužadavimo dažnį, ramybės membranos potencialą ir neurotransmiterių išsiskyrimą [26].

Kalcio veikiami kalio kanalai kontroliuoja daugelį fiziologinių procesų, pradedant neuronų sužadavimo savybėmis ir baigiant neurotransmiterių išsiskyrimo kontrole. Šie jonų kanalai atlieka tam tikrą vaidmenį reguliuojant neuronų jaudrumą ir motorinį našumą fizinio krūvio metu [26].

Fizinis aktyvumas veikia centrinę dopaminerginę, seratonerginę ir noradrenerginę sistemas. Periferinės fiziologinės adaptacijos prie fizinio krūvio vyksta siekiant prisitaikyti prie ramybės homeostazės sutrikdymo, kurį sukelia fizinio krūvio stimulus. Treniruočių metu daroma įtaka dopamino, noradrenalino, serotonino, gama amino sviesto rūgšties (GABA) ir glutamato ekstraląsteliniam lygiui. Dopamino padidėjimas smegenyse susijęs su fizinio krūvio nulemtu didesniu kalcio kiekiu serume, kuris pernešamas į smegenis ir veikia nuo kalcio ir kalmodulino priklausomą dopamino sintezę, aktyvuodamas fermentą tirozino hidrosilazę. Be to, treniruojantis padidėja dopamino ir jo receptoriaus giminingumas. Fiziniai pratimai išprovokuoja neuronų prisitaikymą reaguojant į nekontroliuojamą stresą. Šį apsauginį fizinio krūvio skatinamą mechanizmą, saugantį nuo streso, lemia galanino raiška melsvojoje dėmėje. Galaninas hiperpolarizuoja noradrenerginius neuronus ir slopina melsvosios dėmės neuronų sužadimą, sukeldamas noradrenalino išsiskyrimo slopinimą. Sumažėjus noradrenalino, kuris nukreiptas į migdolinę ir kaktinę žievę, išsiskyrimui, slopinamas nerimas. Noradrenalinas taip pat dalyvauja stiprinant ir atkuriant atmintį [9, 23, 25].

### Jėgos ir aerobinių treniruočių poveikis smegenų sveikatai

Fiziniai pratimai – tai fizinė veikla, kurios formą, struktūrą ir dažnumą galima keisti ir pritaikyti prie bet kurio asmens individualių poreikių. Reguliari vidutinio intensyvumo mankšta, apimanti tokias veiklas kaip jėgos lavinimas, ištvermės, pusiausvyros, lankstumo ir koordinacijos pratimai, teigiamai veikia visus žmogaus sveikatos aspektus. Trumpalaikių ir ilgalaikių fi-

zinių treniruočių apsauginis poveikis centrinei nervų sistemai nuo neurodegeneracijos ir cerebrovaskulinių ligų sulaukė didelio mokslininkų susidomėjimo dėl savo teigiamo poveikio [23, 25].

*Jėgos treniruotė su pasipriešinimu*, apibrėžiama kaip bet kuri fizinė veikla, kurios metu raumenų jėga veikia išorinį pasipriešinimą, siekiant padidinti raumenų dydį, jėgą ir ištvermę, yra pagrindinė fizinio pasirengimo sudedamoji dalis. Moksliniais tyrimais nustatytas ryšys tarp mažos skeleto raumenų masės arba sutrikusios raumenų funkcijos ir kognityvinės disfunkcijos. Jėgos treniruotė gali suaktyvinti įvairias neurochemines medžiagas, įskaitant laktatą, kortizolį, BDNF, IGF-1 norepinefriną ir dopaminą. IGF-1 ir BDNF skatina struktūrinį ir funkcinį plastiškumą tokiose smegenų srityse kaip hipokampus ir prefrontalinė žievė. Mokslinių tyrimų metu nustatyta, kad po izometrinių jėgos pratimų apatinėse galūnėse stebimas laikinas IGF-1 lygio periferiniame kraujyje padidėjimas, o kognityvinė nauda išlieka iki dviejų valandų po treniruotės. Kitame moksliniame tyrime, kuriame tirti vyresnio amžiaus suaugusieji, kurie 52 savaites dalyvavo jėgos treniruotėse, nustatytas ilgalaikis kognityvinių funkcijų pagerėjimas. Trumpos intensyvios jėgos treniruotės su pasipriešinimu gali teigiamai paveikti nervines oscilacijas ir smegenų plastiškumą, todėl pagerėja pažintinės funkcijos ir sinapsinis plastiškumas [25, 31, 32].

*Aerobiniai pratimai* – tai fizinė veikla, kuri kartojasi ir skatina deguonies cirkuliaciją širdies ir kraujagyslių sistemoje, pavyzdžiui, važiavimas dviračiu, bėgimas ar plaukimas. Aerobiniai pratimai didina neuroplastiškumo biomarkerių, įskaitant BDNF, IGF-1 ir kraujagyslių endotelio augimo faktorių (VEGF), raišką. Molekulinių pokyčių kaskada reguliuoja ląstelinis sinaptogenezės, neurogenezės, angiogenozės ir gliogenozės procesus, gerina smegenų kraujotaką, didina pilkosios ir baltosios medžiagos tūrį ir neuronų aktyvumą, taigi turi reikšmingą poveikį neuroplastiškumui, kuris pasireiškia žievės pertvarkymu ir su motorika susijusių smegenų jungčių modelių pokyčiais, todėl yra siejami su geresnėmis kognityvinėmis ir motorinėmis funkcijomis. Aerobinių pratimų įtraukimas į kasdienį gyvenimą brandžiame amžiuje gali padidinti hipokampo dydį (iki 2 proc.) ir pakeisti su amžiumi susijusį hipokampo tūrio sumažėjimą per vienerius ar dvejus metus. Aerobiniai pratimai taip pat gali skatinti funk-

cinį atsigavimą ir gebėjimą mokytis, nes mobilizuoja nervinius išteklius, kurie paruošia smegenis vėlesniam kognityvinių užduočių atlikimui [17, 18, 25, 33–36].

Moksliniame tyrime, kuriame tirti dešimt jaunų sveikų asmenų, 30 min. vidutinio intensyvumo važinėjimas dviračiu pagerino kelių atminties, mąstymo, koncentracijos ir planavimo rodiklių rezultatus, palyginti su pradiniu lygiu. Keliose metaanalizėse, kuriose daugiausia dėmesio skirta vyresniems nei 55 metų amžiaus suaugusiesiems, pabrėžtas teigiamas aerobinių pratimų poveikis dėmesio koncentravimui, duomenų apdorojimo greičiui, vykdomosioms funkcijoms, atminčiai ir darbinei atminčiai. Kitoje mokslinių tyrimų apžvalgoje buvo pabrėžtas aerobinių pratimų poveikis smegenų kraujotakai, smegenų oksigenacijai ir metabolizmui. Tačiau mokslinių tyrimų metu nustatyta, kad atliekant lengvo ir vidutinio intensyvumo pratimus smegenų kraujotaka palaipsniui didėja, o atliekant didelio intensyvumo pratimus – mažėja. Tai rodo, kad atliekant didelio intensyvumo pratimus gali būti nepatenkinami smegenų medžiagų apykaitos poreikiai, o tai gali turėti neigiamos įtakos kognityvinėms funkcijoms ir smegenų sveikatai. Ateityje reikėtų toliau tirti aerobinių pratimų poveikį, nes pateikti prieštaringi rezultatai galėjo atsirasti dėl skirtingo aerobinių pratimų tipo, intensyvumo ar apimties, taip pat dėl tyrime dalyvavusių asmenų fizinio pasirengimo lygio [17, 18, 25, 33–35].

*Didelio intensyvumo intervalinė treniruotė (HIIT)* palengvina neuronų atsistatymą po galvos smegenų išeminių ligų. Šio tipo treniruotės didina laktato, BDNF ir VEGF koncentraciją kraujo plazmoje. HIIT taip pat teigiamai reguliuoja kitus neurofiziologinius rodiklius, kurie tiesiogiai susiję su geresniais motorinio mokymosi rezultatais. Norint pasiekti didesnę teigiamą poveikį, veiksmingesni yra ilgesni ir intensyvesni tre-

niruočių protokolai. Kadangi tyrimų, vertinančių šio tipo treniruočių įtaką neuroplastiškumui, atlikta nedaug, tikslinga atlikti daugiau mokslinių tyrimų, vertinančių HIIT treniruočių įtaką neuroplastiškumui [30].

## APIBENDRINIMAS

Fizinis aktyvumas yra naudinga priemonė, padedanti gerinti neuroplastiškumą ir kognityvinę būklę nepriklausomai nuo amžiaus. Jis skatina palankius molekulinis ir ląstelinius pokyčius smegenyse, skatina neurogenezę, sinapsinį plastiškumą ir bendrą smegenų sveikatą. Fizinis aktyvumas taip pat skatina teigiamus smegenų struktūrinės morfologijos pokyčius, aktyvina atitinkamas funkcines smegenų sritis ir skatina adaptyvius elgesio pokyčius. Reguliarus fizinis aktyvumas yra labai svarbus norint palaikyti kognityvines funkcijas ir sušvelninti su senėjimu susijusius neurodegeneracinius procesus.

Aerobinės, jėgos ir didelio intensyvumo intervalinės treniruotės teigiamai veikia smegenų sveikatą, tačiau jų poveikio mechanizmai ir trukmė yra skirtingi. Mažo ir vidutinio intensyvumo aerobiniai pratimai gerina kraujotaką, didina neuroplastiškumo biožymenų raišką ir didina baltosios ir pilkosios smegenų medžiagos tūrį bei neuronų aktyvumą. Jėgos treniruotės stiprina neurochemines reakcijas, o didelio intensyvumo intervalinės treniruotės skatina greitus neuronų atsistatymo procesus, tačiau reikalauja daugiau tyrimų dėl optimalaus intensyvumo nustatymo.

Nepaisant įtikinamų įrodymų, patvirtinančių neuroprotekcinį fizinio krūvio poveikį, sporto medicinos ir reabilitacijos srityje vis dar diskutuojama apie tai, kaip skirtingi neuroprotekciniai mechanizmai veikia kiekvieno konkretaus fizinio treniruočių tipo ir intensyvumo metu.

*Straipsnis gautas 2024-10-17, priimtas 2024-11-15*

## Literatūra

1. Puderbaugh M, Emmady PD. Neuroplasticity. 2023 May 1. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan–. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557811/>.
2. Castaldi E, Lunghi C, Morrone MC. Neuroplasticity in adult human visual cortex. *Neurosci Biobehav Rev*. 2020 May;112:542–552. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2020.02.028.
3. Zotey V, Andhale A, Shegekar T, Juganavar A. Adaptive Neuroplasticity in Brain Injury Recovery: Strategies and Insights. *Cureus*. 2023 Sep 24;15(9):e45873. DOI: 10.7759/cureus.45873.
4. Di Liegro CM, Schiera G, Proia P, Di Liegro I. Physical Activity and Brain Health. *Genes (Basel)*. 2019 Sep 17;10(9):720. DOI: 10.3390/genes10090720.
5. Hill T, Polk JD. BDNF, endurance activity, and mechanisms underlying the evolution of hominin brains. *Am J Phys Anthropol*. 2019 Jan;168 Suppl 67:47–62. DOI: 10.1002/ajpa.23762.
6. Huang Z, Zhang Y, Zhou R, Yang L, Pan H. Lactate as Potential Mediators for Exercise-Induced Positive Effects on Neuroplasticity and Cerebrovascular Plasticity. *Front Physiol*. 2021 Jul 5;12:656455. DOI: 10.3389/fphys.2021.656455.
7. Lu Y, Bu FQ, Wang F, Liu L, Zhang S, Wang G, Hu XY. Recent advances on the molecular mechanisms of exercise-induced improvements of cognitive dysfunction. *Transl Neurodegener*. 2023 Feb 27;12(1):9. DOI: 10.1186/s40035-023-00341-5.
8. Bonanni R, Cariati I, Tarantino U, D'Arcangelo G, Tancredi V. Physical Exercise and Health: A Focus on Its Protective Role in Neurodegenerative Diseases. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2022 Apr 29;7(2):38. DOI: 10.3390/jfkm7020038.
9. Mahalakshmi B, Maurya N, Lee SD, Bharath Kumar V. Possible Neuroprotective Mechanisms of Physical Exercise in Neurodegeneration. *Int J Mol Sci*. 2020 Aug 16;21(16):5895. DOI: 10.3390/ijms21165895.
10. Müller P, Duderstadt Y, Lessmann V, Müller NG. Lactate and BDNF: Key Mediators of Exercise Induced Neuroplasticity? *J Clin Med*. 2020 Apr 15;9(4):1136. DOI: 10.3390/jcm9041136.
11. de Sousa Fernandes MS, Ordônio TF, Santos GCJ, Santos LER, Calazans CT, Gomes DA, Santos TM. Effects of Physical Exercise on Neuroplasticity and Brain Function: A Systematic Review in Human and Animal Studies. *Neural Plast*. 2020 Dec 14;2020:8856621. DOI: 10.1155/2020/8856621.
12. Arida RM, Teixeira-Machado L. The Contribution of Physical Exercise to Brain Resilience. *Front Behav Neurosci*. 2021 Jan 20;14:626769. DOI: 10.3389/fnbeh.2020.626769.
13. Zou J, Hao S. Exercise-induced neuroplasticity: a new perspective on rehabilitation for chronic low back pain. *Front Mol Neurosci*. 2024 Jun 7;17:1407445. DOI: 10.3389/fnmol.2024.1407445.
14. Fari G, Lunetti P, Pignatelli G, Raelle MV, Cera A, Mintrone G, Rannieri M, Megna M, Capobianco L. The Effect of Physical Exercise on Cognitive Impairment in Neurodegenerative Disease: From Pathophysiology to Clinical and Rehabilitative Aspects. *Int J Mol Sci*. 2021 Oct 27;22(21):11632. DOI: 10.3390/ijms222111632.
15. De Las Heras B, Rodrigues L, Cristini J, Moncion K, Ploughman M, Tang A, Fung J, Roig M. Measuring Neuroplasticity in Response to Cardiovascular Exercise in People With Stroke: A Critical Perspective. *Neurorehabil Neural Repair*. 2024 Apr;38(4):303–321. DOI: 10.1177/15459683231223513.
16. Bilchak JN, Caron G, Côté MP. Exercise-Induced Plasticity in Signaling Pathways Involved in Motor Recovery after Spinal Cord Injury. *Int J Mol Sci*. 2021 May 4;22(9):4858. DOI: 10.3390/ijms22094858.
17. Maharjan R, Diaz Bustamante L, Ghattas KN, Ilyas S, Al-Refai R, Khan S. Role of Lifestyle in Neuroplasticity and Neurogenesis in an Aging Brain. *Cureus*. 2020 Sep 24;12(9):e10639. DOI: 10.7759/cureus.10639.
18. Pickersgill JW, Turco CV, Ramdeo K, Rehsi RS, Foglia SD, Nelson AJ. The Combined Influences of Exercise, Diet and Sleep on Neuroplasticity. *Front Psychol*. 2022 Apr 26;13:831819. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.831819.
19. Hwang E, Portillo B, Grose K, Fujikawa T, Williams KW. Exercise-induced hypothalamic neuroplasticity: Implications for energy and glucose metabolism. *Mol Metab*. 2023 Jul;73:101745. DOI: 10.1016/j.molmet.2023.101745. Epub 2023 May 31.
20. Keawtep P, Wichayanrat W, Boripuntakul S, Chattipakorn SC, Sungkarat S. Cognitive Benefits of Physical Exercise, Physical-Cognitive Training, and Technology-Based Intervention in Obese Individuals with and without Postmenopausal Condition: A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Oct 16;19(20):13364. DOI: 10.3390/ijerph192013364.
21. Hugues N, Pellegrino C, Rivera C, Berton E, Pin-Barre C, Laurin J. Is High-Intensity Interval Training Suitable to Promote Neuroplasticity and Cognitive Functions after Stroke? *Int J Mol Sci*. 2021 Mar 16;22(6):3003. DOI: 10.3390/ijms22063003.
22. Augusto-Oliveira M, Verkhatsky A. Lifestyle-dependent microglial plasticity: training the brain guardians. *Biol Direct*. 2021 Aug 5;16(1):12. DOI: 10.1186/s13062-021-00297-4.
23. Zikereya T, Shi K, Chen W. Goal-directed and habitual control: from circuits and functions to exercise-induced neuroplasticity targets for the treatment of Parkinson's disease. *Front Neurol*. 2023 Oct 10;14:1254447. DOI: 10.3389/fneur.2023.1254447.
24. Abdulghani A, Poghosyan M, Mehren A, Philipson A, Anderzhanova E. Neuroplasticity to autophagy cross-talk in a therapeutic effect of physical exercises and irisin in ADHD. *Front Mol Neurosci*. 2023 Jan 26;15:997054. DOI: 10.3389/fnmol.2022.997054.
25. Li X, Qu X, Shi K, Yang Y, Sun J. Physical exercise for brain plasticity promotion an overview of the underlying oscillatory mechanism. *Front Neurosci*. 2024 Aug 8;18:1440975. DOI: 10.3389/fnins.2024.1440975.
26. Dai Y, Cheng Y, Ge R, Chen K, Yang L. Exercise-induced adaptation of neurons in the vertebrate locomotor system. *J Sport Health Sci*. 2024 Mar;13(2):160–171. DOI: 10.1016/j.jshs.2023.10.006.
27. Hill G, Johnson F, Uy J, Serrada I, Benyamin B, Van Den Berg M, Hordacre B. Moderate intensity aerobic exercise may enhance neuroplasticity of the contralesional hemisphere after stroke: a randomised controlled study. *Sci Rep*. 2023 Sep 2;13(1):14440. DOI: 10.1038/s41598-023-40902-2.
28. Johansson H, Hagströmer M, Grooten WJA, Franzén E. Exercise-Induced Neuroplasticity in Parkinson's Disease: A Metasynthesis of the Literature. *Neural Plast*. 2020 Mar 5;2020:8961493. DOI: 10.1155/2020/8961493.
29. Fakhoury M, Eid F, El Ahmad P, Khoury R, Mezher A, El Masri D, Haddad Z, Zoghbi Y, Ghayad LM, Sleiman SF, Stephan JS. Exercise and Dietary Factors Mediate Neural Plasticity Through Modulation of BDNF Signaling. *Brain Plast*. 2022 Oct 21;8(1):121–128. DOI: 10.3233/BPL-220140.



30. Montero-Almagro G, Bernal-Utrera C, Geribaldi-Doldán N, Nunez-Abades P, Castro C, Rodriguez-Blanco C. Influence of High-Intensity Interval Training on Neuroplasticity Markers in Post-Stroke Patients: Systematic Review. *J Clin Med*. 2024 Mar 29;13(7):1985. DOI: 10.3390/jcm13071985.
31. Tsai CL, Pai MC, Ukropec J, Ukropcová B. Distinctive Effects of Aerobic and Resistance Exercise Modes on Neurocognitive and Biochemical Changes in Individuals with Mild Cognitive Impairment. *Curr Alzheimer Res*. 2019;16(4):316–332. DOI: 10.2174/1567205016666190228125429.
32. Nicola L, Loo SJQ, Lyon G, Turknett J, Wood TR. Does resistance training in older adults lead to structural brain changes associated with a lower risk of Alzheimer's dementia? A narrative review. *Ageing Res Rev*. 2024 Jul;98:102356. DOI: 10.1016/j.arr.2024.102356.
33. Sudo M, Costello JT, McMorris T, Ando S. The effects of acute high-intensity aerobic exercise on cognitive performance: A structured narrative review. *Front Behav Neurosci*. 2022 Sep 23;16:957677. DOI: 10.3389/fnbeh.2022.957677.
34. Cardoso SV, Fernandes SR, Tomás MT. Therapeutic Importance of Exercise in Neuroplasticity in Adults with Neurological Pathology: Systematic Review. *Int J Exerc Sci*. 2024 Aug 1;17(1):1105–1119. DOI: <https://doi.org/10.70252/VZWF7949>.
35. Sudo M, Costello JT, McMorris T, Ando S. The effects of acute high-intensity aerobic exercise on cognitive performance: A structured narrative review. *Front Behav Neurosci*. 2022 Sep 23;16:957677. DOI: 10.3389/fnbeh.2022.957677.
36. Abuleil D, Thompson B, Dalton K. Aerobic Exercise and Human Visual Cortex Neuroplasticity: A Narrative Review. *Neural Plast*. 2022 Jul 23;2022:6771999. DOI: 10.1155/2022/6771999.

# EFFECTS OF PHYSICAL ACTIVITY ON BRAIN NEUROPLASTICITY. A REVIEW OF THE LITERATURE

**Laura Gulbinaitė**

*Vilnius University, Faculty of Medicine, Department of Rehabilitation, Physical and Sports Medicine*

## SUMMARY

**The aim** of this literature review is to explore the cellular and molecular mechanisms underlying the effects of physical activity on brain neuroplasticity.

**Methods:** A systematic literature review was conducted using the PubMed database, focusing on articles related to the impact of physical activity on brain neuroplasticity. A total of 3,927 publications were identified using keywords: *neuroplasticity, brain plasticity, physical exercise, physical activity*. Following PRISMA guidelines, 3,896 articles were excluded, leaving 31 articles published between 2019 and 2024 for detailed analysis.

**Results:** Physical activity positively influences brain function through various mechanisms. Physical activity increases the production of neurotrophic factors (e.g., BDNF, NGF, GDNF), essential for neuronal survival and regeneration. It enhances synaptic plasticity, reduces oxidative stress, and promotes mitochondrial health, all contributing to improved cognitive functions and resilience against age-related decline and neurodegenerative diseases. Furthermore, physical activity has been shown to reduce pro-inflammatory cytokines, enhance anti-inflammatory responses, and improve neuronal connections.

**Conclusion:** Physical activity is a cost-effective strategy for enhancing neuroplasticity and cognitive health

throughout life. It induces beneficial molecular and cellular changes in the brain, bolstering neurogenesis, synaptic plasticity, and overall brain health. Regular engagement in physical exercise is crucial for maintaining cognitive functions and mitigating neurodegenerative processes associated with aging. Aerobic, resistance and high-intensity interval training have positive effects on brain health, but the mechanisms and duration of their effects are different. Despite the strong evidence supporting the neuroprotective effects of exercise, there is still debate in the field of sports medicine and rehabilitation as to how different neuroprotective mechanisms work during each specific type and intensity of physical training.

**Keywords:** neuroplasticity, brain plasticity, physical activity.

**Correspondence to:** Laura Gulbinaitė

Department of Rehabilitation,  
Physical and Sports Medicine, Faculty of Medicine  
Žirmūnų str. 124, LT-09123 Vilnius, Lithuania  
E-mail: laura.gulbinaite@mf.vu.lt

*Received 17 October 2024, accepted 15 November 2024*