

# Utjecaj tjelesne aktivnosti na neuroplastičnost mozga i neurorehabilitaciju nakon moždanog udara

## *Impact of Physical Activity on Neuroplasticity and Neurorehabilitation after Stroke*

ZDRAVKA POLJAKOVIĆ

Zavod za intenzivno liječenje i cerebrovaskularne bolesti Klinike za neurologiju KBC-a Zagreb

**SAŽETAK** \_\_\_\_ Neuroplastičnost je mozga, prema definiciji, njegova sposobnost prilagodbe na nova iskustva ili uvjete pri čemu se on modificira, adaptira ili čak morfološki mijenja sukladno potrebi. Smatra se da je neuroplastičnost najizraženija u ranom djetinjstvu, dok novija istraživanja potvrđuju postojanje neuroplastičnosti i u odrasloj životnoj dobi, a osobito nakon oštećenja mozga. Danas je poznato da mozak ima sposobnost uspostavljanja novih neuronalnih krugova, odnosno stvaranja novih sinapsa nakon ishemijskih oštećenja. Ova spoznaja temelj je spontanog oporavka pojedinih funkcija nakon moždanog udara, ali i današnjeg pristupa neurorehabilitaciji.

Neurorehabilitacija obuhvaća poticanje vlastitih mehanizama oporavka utjecanjem na neuroplastičnost, odnosno mogućnost reorganizacije neuronalnih putova i sinapsa u domeni kognicije, motorike i raspoloženja, odnosno ponašanja. Ciljana tjelesna aktivnost kao ključan dio neurorehabilitacije utječe na sva tri modaliteta, a važna je i u prevenciji nastanka brojnih neuroloških, poglavito cerebrovaskularnih bolesti.

**KLJUČNE RIJEČI:** tjelesna aktivnost, neuroplastičnost mozga, moždani udar, neurorehabilitacija

**SUMMARY** \_\_\_\_ Neuroplasticity is defined as the ability of the brain to adapt to new experience or circumstances, where the brain modifies, adapts or even morphologically changes as needed. Neuroplasticity is considered to be most prominent in early childhood, but recent research has confirmed its occurrence in adulthood as well, especially after brain injury. Today, it is a common fact that human brain has the ability to form new neuronal circuits and create new synaptic networks after ischemic injuries. This fact is the basis for the spontaneous recovery of certain functions after a stroke, as well as for the current approach to neurorehabilitation.

Neurorehabilitation involves intrinsic recovery mechanisms that are boosted through neuroplasticity, namely the possibility of neuronal pathway and synaptic network reorganisation in the domain of cognition, motoric functions, as well as mood and behaviour. Target physical activity as the crucial element of neurorehabilitation affecting all three modalities is essential for the prevention of incidence of numerous neurological impairments, especially cerebrovascular diseases.

**KEY WORDS:** physical activity, neuroplasticity, stroke, neurorehabilitation



### Neuroplastičnost mozga – današnje spoznaje

Pojam „neuroplastičnost“ veže se uz sposobnost mozga za funkcionalnu i/ili morfološku prilagodbu ili promjenu ovisno o novonastalim okolnostima (1). Neuroplastičnost je fiziološki proces tijekom sazrijevanja mozga u najranijem djetinjstvu, međutim, prisutna je i u kasnijim, odnosno odraslim razdobljima života sisavaca i čovjeka, a mehanizmi koji upravljaju tim fenomenom pokazuju i interindividualne razlike (1). Plastičnost korteksa podložna je varijacijama u mnogo većoj mjeri nego što se to pretpostavljalo. Razlike u mehanizmima neuroplastičnosti među pojedinim osobama

mogle bi utjecati i na pojavu pojedinih neuroloških i neuro-razvojnih poremećaja, a dodatno su i pod utjecajem različitih čimbenika u pojedinim razvojnim dobima (1). Posebno su osjetljiva razdoblja ranog djetinjstva, što je razvidno iz činjenice da je, na primjer, razdoblje najuspješnije ugradnje pužnice kod djece s poremećajima sluha (pa tako i govora) do četvrte godine života, dok ugradnja nakon sedme godine ne daje gotovo nikakve kliničke rezultate (1). Ipak, neki mehanizmi neuroplastičnosti mogu se aktivirati i poslije, a velik broj čimbenika koji utječu na neuroplastičnost još je nepoznat. Novija su istraživanja pokazala da se promjene, na primjer, slušnog korteksa događaju kod sisavaca i u pot-

puno odrasloj dobi (1).

Prestanak razdoblja najaktivnije neuroplastičnosti događa se nakon sazrijevanja inhibitorynog sustava, odnosno gabaergetičkog sustava. Potpuno aktivan gabaergetički sustav kore mozga dovest će do zaustavljanja procesa plastičnosti, odnosno razvoja pojedinih neuralnih krugova. Svaka daljnja modifikacija neuralne mreže pod utjecajem je niza inhibitorynih mehanizama, odnosno tzv. molekularnih kočnica koje imaju ulogu ograničavanja plastičnosti zrelog mozga. Gabaergetički sustav tijekom života sisavaca uglavnom je stabilan i ne mijenja se. Ono što sa starenjem podliježe promjenama te tako utječe i na neuroplastičnost jest niz interneurona, koji su ponajprije pozitivni na somatostatin i posebno osjetljivi na starenje (1). S druge strane, okruženje bogato osjetnim stimulusima može produljiti razdoblje neuroplastičnosti ili ju potaknuti, može i stimulirati rast dendrita te poboljšati sposobnost neuralnog odgovora. Jednako tako, poglavito u ranom djetinjstvu, okolina siromašna stimulusima zaustavit će procese neuroplastičnosti (pa tako i razvoja) i moždane stanice ostaviti u nezrelom obliku (1).

Za razvoj mozga u najranijem razdoblju, osim vanjskih podražaja, ključan je i neuromodulatorski sustav koji vjerojatno pridonosi i interindividualnim razlikama. Na prvome mjestu to su norepinefrinski (noradrenergetički) i kolinergički sustavi za koje je dokazano da izravno djeluju na ekscitabilnost neurona. Norepinefrinski sustav posebno je važan za razvoj vidnog puta i korteksa. Kolinergički je, pak, sustav ponajprije odgovoran za neuromodulaciju viših kortikalnih funkcija kao što su učenje, pozornost i pamćenje (1).

Neuromodulatorski sustav odgovoran je i za neuroplastičnost u odrasloj dobi. Ponajprije se to odnosi na pojačanu ekscitabilnost (osjetljivost) neurona na zvučne podražaje, kao i na širenje kortikalnih impulsa moždanom korom. I u tim su odgovorima nađene interindividualne razlike. No, osim razlika između pojedinih osoba ili jedinka, postoje u humanim studijama razlike i u spolovima, odnosno razlike između muškaraca i žena na razini neuromodulacije, pa tako i utjecaja neuromodulatora na kogniciju. Tako, na primjer, nikotin (koji je agonist kolinergičkih receptora) može različito djelovati na sposobnost učenja ovisno o spolu. Dopaminergička je, pak, neurotransmisija modulirana spolnim steroidnim hormonima (1).

I na kraju, u patološkim okolnostima kao što je recimo žarišno ishemijsko oštećenje mozga s posljedičnom motoričkom slabošću ekstremiteta dokazano je stvaranje novih neuronalnih krugova nakon raznih oblika stimulacije zahvaćenog ekstremiteta, uključivo i vibraciju. Navedene se reakcije događaju ponajprije u zdravome somatosenzornom korteksu tijekom prvih tjedana nakon oštećenja. Funkcionalni MR mozga učinjen u eksperimentalnim uvjetima na glodavcima pokazao je jasne naznake aktivacije u kontrala-

teralnom korteksu u ranoj fazi, a tek poslije i u ipsilateralnoj, ozlijeđenoj moždanoj kori. Što je ishemijsko oštećenje veće, to je i kontralateralna aktivnost bila uočljivija, poglavito u primarnome motoričkom korteksu. Pri procesu motoričkog oporavka važne su bile razina oštećenja ipsilateralnoga kortikospinalnog trakta, kao i sinkronizacija interhemisfernoga neuralnog signala, što upućuje na važnost obiju hemisfera u procesu rehabilitacije (1).

## Kako tjelesna aktivnost i vježba utječu na neuroplastičnost mozga?

U sklopu istraživanja neuroplastičnosti mozga veliku ulogu imaju nove, sve sofisticiranije neuroslikovne i nuklearne metode, ponajprije funkcionalna magnetska rezonancija mozga i PET (pozitronska emisijska tomografija). Upravo su te metode pokazale važnost neuronalne mreže, neuroplastičnosti i interhemisferne povezanosti u patološkim uvjetima odnosno u procesima oporavka. Postoje i klinički dokazi reorganizacije korteksa u kontralateralnoj (zdravoj) hemisferi u kompenzaciji nastalog neurološkog oštećenja, stoga je logično da je poznavanje tih mehanizama važno u procesu funkcionalnog oporavka. Mozak, uključujući time i motorički sustav, uči ponavljajući i trenirajući (2). Upravo je zbog toga pravilan proces rehabilitacije izravno vezan uz poticanje neuroplastičnosti mozga određenom aktivnošću, odnosno, govorimo li o motoričkom oporavku, tjelesnom aktivnošću. Nažalost, još ne postoje jasne smjernice i preporuke za vrijeme početka neurorehabilitacije, njezino trajanje i vrstu. No, prema svemu sudeći, to je kompleksan proces koji mora obuhvatiti procese oporavka funkcije, zamjene izgubljene funkcije novom, kao i kompenzaciju izgubljene funkcije novim načinom rješavanja problema (2).

Pri tom bi procesu poticanje mehanizama neuroplastičnosti trebalo biti cilj neurorehabilitacije. Zasad je metoda poticanja svedena na mehanički stimulus, rjeđe električni ili magnetski impuls. Novije su studije pokazale da povećanje ekscitabilnosti motoričkog korteksa električnim stimulusom može dovesti do poboljšanja motoričkog deficita, no ta je metoda još eksperimentalna. Ipak, treba naglasiti da na oporavak ne utječe samo „mehanički“ dio stimulacije, nego su iznimno važni i motivacija i raspoloženje (2).

Tjelesna je aktivnost osobito važna upravo u ovim posljednjim navedenim domenama rehabilitacije. Postoje, naime, brojni dokazi da tjelesna aktivnost i vježbanje izravno utječu na raspoloženje, kognitivne funkcije, pa čak i da smanjuju simptome (znakove) brojnih psihijatrijskih poremećaja (3). No mehanizam kojim dolazi do ovog poboljšanja još nije sasvim jasan. Današnja istraživanja upućuju na to da je jedan od faktora rasta, i to moždani neurotrofni faktor (engl. *Brain*

*derived neurotrophic factor* – BDNF) – protein iz porodice neurotrofina, bitan upravo pri poticanju neuroplastičnosti mozga u odrasloj dobi, a da je pod utjecajem i tjelesne aktivnosti. U fiziološkim uvjetima uključen je u rast, diferencijaciju, ali i preživljavanje neurona. Povišenje koncentracije BDNF-a pod utjecajem tjelesne aktivnosti stimulira neurogenezu i sinaptogenezu, prevenira gubitak moždanih stanica, a vjerojatno utječe i na kogniciju. Čini se čak i da serumske (periferne) koncentracije BDNF-a mogu upućivati na stanje tog neurotrofina i u mozgu, pa tako i na neke patološke promjene (3). Štoviše, na eksperimentalnim se modelima pokazalo da postoji porast koncentracije BDNF-a nakon tjelesne aktivnosti u SŽS-u, i to poglavito u hipokampusu, prefrontalnom i motoričkom korteksu, lateralnom septumu, strijatumu, amigdalama i malome mozgu. Taj porast koncentracije ne ovisi o spolu niti je jasno ovisan o dobi, što upućuje na mogućnost jednake djelotvornosti tjelesne aktivnosti u svake osobe. Kod ljudi je porast koncentracije BDNF-a nakon vježbanja dokazan samo u perifernoj krvi zbog čega je, dakako, potrebno dodatno dokazati koliko je baš taj neurotrofin važan za neuroplastičnost (3). No, u svakom je slučaju vrlo vjerojatno da upravo kombinacija različitih mehanizama koji su potaknuti tjelesnom aktivnošću i vježbanjem povoljno utječe na oporavak odnosno neuroplastičnost mozga. Poznato je da vježba povoljno utječe na cirkulaciju, neuroendokrini odgovor, promjene u intrinzičkom kanabinoidnom sustavu, kao i u neurotransitorskom sustavu, a čini se da utječe i na strukturalne promjene SŽS-a (3). Upravo je zbog toga utjecaj tjelesne aktivnosti na BDNF po svemu važan za spomenute mehanizme oporavka i neuroplastičnosti. U kolikoj mjeri potrebno je još potvrditi.

## Uloga neuroplastičnosti kod moždanog udara

Moždani je udar jedna od najčešćih bolesti današnjice te je zajedno s kardiovaskularnim bolestima najčešći uzrok i smrti i invaliditeta u većini svjetske populacije. Prevencija i aktivno liječenje moždanog udara danas su prioritet svih modernih nacionalnih zdravstvenih sustava. Ipak, usprkos znatnim pomacima u domeni prevencije i liječenja 15 milijuna ljudi svake godine doživi moždani udar, od čega još najmanje trećina ostaje s teškim posljedicama te bolesti, odnosno visokim stupnjem invaliditeta. Ciljana i učinkovita neurorehabilitacija stoga je i nadalje nezaobilazan dio liječenja moždanog udara. Poticanje restrukturiranja mozga u novim okolnostima te preuzimanje pojedinih funkcija od zdravog dijela mozga, odnosno utjecaj na neuroplastičnost mozga i u patološkim uvjetima danas su jedan od osnovnih ciljeva neurorehabilitacije.

Mehanizmi neuroplastičnosti nesumnjivo su osnova opo-

ravka. Brojne animalne studije dokazale su da je neuroplastičnost uključena u učenje novih motoričkih obrazaca, što je baza rehabilitacije motoričkog deficita. Mehanizmi neuroplastičnosti u ovom slučaju, čini se, uključuju „prekopčavanje“ neuronalnih putova te pojavu novih sinapsa ili pojačanje starih (2). Izazov neurorehabilitacije jest potaknuti preživjele neuronalne putove na novu aktivnost. Primjenom novih, već spomenutih neuroslikovnih i nuklearnih tehnika mogu se pratiti novi neuronalni putovi u funkcionalnim mapama. Tako je na animalnome modelu uočeno da uništenje motoričke kore mozga za prednji ekstremitet dovodi do aktivacije i preuzimanja funkcije u motoričkom korteksu za stražnju nogu. Štoviše, došlo je do širenja novostvorenih aksonalnih ogranaka iz neoštećenoga motoričkog korteksa stražnje noge kortikospinalnim putom u cervikalni dio kralježnične moždine, čemu je slijedilo povlačenje „staroga“ spinalnog aksonalnog puta i konverzija u novi u motoričkom području stražnje noge modela. Sve je ovo bilo mnogo učinkovitije i izrazitije u ranoj fazi nakon ishemijskog oštećenja, odnosno nekoliko dana nakon ishemijskog oštećenja, odnosno nekoliko dana nakon ishemijskog oštećenja, ove reakcije više nije bilo (2).

Dakako, nakon ishemijskog oštećenja mozga dolazi i do vlastitih reakcija mozga na noksu koje započinju promjenama moždane cirkulacije, razvojem edema i upalnih promjena. Cijela ova kaskada zbivanja uključuje i endogene mehanizme oporavka koji traju nekoliko tjedana. Nekoliko mjeseci nakon ishemijskog oštećenja endogeni mehanizmi oporavka dosežu svoj maksimum i ulaze u stabilnu, kroničnu fazu koja se, međutim, još može mijenjati odnosno modelirati. Remodeliranje se može razmotriti u tri moguća oblika reorganizacije:

- povećanoj kortikalnoj ekscitabilnosti u regijama koje su udaljene, ali ipak povezane s mjestom oštećenja (najčešće su to kortikalna područja što uključuju motoričku regiju, govornu regiju, područje odgovorno za pozornost i vidne funkcije). Ova kortikalna hipereksitabilnost počinje nekoliko dana nakon moždanog udara i traje nekoliko mjeseci
- reduciranoj aktivaciji određenih područja (obično je to područje ipsilateralno oštećenju, a zbog povećane aktivnosti kontralateralne hemisfere)
- somatotopičkoj modifikaciji u neoštećenim kortikalnim područjima (što zapravo podrazumijeva preuzimanje funkcije neoštećenih dijelova korteksa od dijela koji je nepovratno izgubljen) (2).

Zanimljivo je da su prva dva fenomena to izrazitija što je bolji funkcionalni oporavak bolesnika, a ako on ne postoji, nema ni opisanih hiperaktivacija, što govori o slabome regenerativnom kapacitetu.

I u pogledu neuroplastičnosti i u pogledu oporavka postoje znatne interindividualne razlike. Pritom, čini se, važnu ulogu imaju upravo neuromodulatori kao što su dopamin, norepinefrin ili serotonin. U glodavaca se pokazalo da aktivacija spomenutih neurotransmitorskih putova (npr., stimulacijom n. vagusa) tijekom motoričkih vježba poboljšava kasniju motoričku funkciju, odnosno izravno djeluje na oporavak. Važna je uloga i već spomenutih faktora rasta pa je tako dokazano da ventralna premotorička regija u trenutku ishemijskog oštećenja pojačano luči i vaskularni endotelni faktor rasta (engl. *Vascular Endothelial Growth Factor* – VEGF) koji utječe na angiogenezu i ima neuroprotektivna svojstva, a u ovom slučaju vjerojatno utječe i na nove putove sinaptogeneze te na preuzimanje izgubljene funkcije od okolnih dijelova korteksa (2).

Na kraju, nije još potpuno jasna ni uloga kontralateralne hemisfere, do čije jasne aktivacije dolazi neposredno nakon ishemijskoga moždanog udara. Postoje neka istraživanja koja upućuju na negativan utjecaj te aktivacije na motorički oporavak zbog pojave tzv. urušavanja interhemisferne komunikacije bez koje je onemogućen oporavak ipsilateralne strane. Ipak, vjerojatnije je da se to događa jedino kod vrlo opsežnih ishemijskih oštećenja (2), kada je taj oporavak i o nako vjerojatno nemoguć.

## Tjelesna aktivnost i vježbanje u neurorehabilitacijskom procesu nakon moždanog udara

Povezanost tjelesne aktivnosti i cerebrovaskularnih i kardiovaskularnih bolesti poznata je već jako dugo. Nedovoljna tjelesna aktivnost jedan je od važnih čimbenika rizika od ishemijskoga moždanog udara, a na koji definitivno možemo utjecati.

Istraživanja su pokazala da tjelesno aktivne osobe imaju niži rizik od nastanka moždanog udara za 25 – 30%, a i ako ga dožive, imaju znatno bolju prognozu i u pogledu preživljenja i u pogledu oporavka. Sam pojam „tjelesna aktivnost“ i dandanas nije uniformno i jasno definiran, odnosno to mogu biti i šetnja i lagana tjelesna aktivnost, ali i ciljana tjelovježba (5).

Tjelesna aktivnost i vježbanje, međutim, znatno utječu i na rehabilitaciju i oporavak nakon moždanog udara. Tjelesna je aktivnost, prema definiciji, izvođenje pojedinih pokreta mišićnom aktivnošću čime dolazi do potrošnje energije. Za razliku od vježbanja koje je planirana, strukturirana i ponavljana tjelesna aktivnost sa određenim ciljem radi postizanja ili održavanja fizičke spremne. Vježbanje može pozitivno utjecati na kardiovaskularnu kondiciju, sposobnost hodanja, snagu mišića gornjih ekstremiteta. Osim što djeluje na motoričku komponentu rezidualnog deficita, vježbanje će pozitivno utjecati i na raspoloženje i kognitivne funkcije (5) (kao što je

u tekstu već objašnjeno), a time i na kvalitetu života općenito. Moždani udar, kao bolest koja ponajprije zahvaća motoriku, ima već sam po sebi porazan utjecaj na cijeli organizam. Dugotrajno ležanje dovest će do elektrolitskog disbalansa, smanjenog volumena krvi, pojačane diureze, smanjene srčane funkcije, povišene frekvencije srca (0,5/dan), gubitka mišićne snage (25% gubitka snage, npr., plantarne fleksije nakon 5 tjedana), ortostatske intolerancije, kontraktura, povišenog rizika od duboke venske tromboze, smanjene potrošnje kisika (0,8%/dan) (5).

Smanjena vršna potrošnja kisika ( $VO_2$ ) posljedica je smanjenog aerobnog kapaciteta, a osobito je smanjena u populaciji bolesnika s moždanim udarom. Njihov maksimalni  $VO_2$  manji je od onog zdrave populacije za čak 50 – 70%. Budući da je aerobni kapacitet zapravo rezultat kapaciteta kardiorespiratornog sustava u opskrbi kisika i kapaciteta mišića da taj kisik upotrebljavaju, logično je da nepokretnost taj parametar znatno smanjuje. S druge, pak, strane, navedeni je parametar statistički značajno manji upravo kod osoba koje imaju povišen rizik od kardiovaskularne bolesti i moždani udar, kao i pri nekim drugim stanjima poput osteoporoze (6). Upravo je zato stimulacija aerobnog kapaciteta, odnosno aerobni trening iznimno važan i u prevenciji moždanog udara, ali i nakon preboljele bolesti. U praksi se danas primjenjuju brojne metode poboljšanja aerobnog kapaciteta koje uključuju i vježbe u vodi, poglavito pogodne za bolesnike nakon moždanog udara čije su mišićna snaga, stabilnost i ravnoteža narušene. Vježbe u vodi dodatno imaju i vrlo velik postotak porasta  $VO_2$  (22,5%) ako se uspoređuju s većinom vježba na suhome. Općenito govoreći, aerobne vježbe (pri intenzitetu od 50 do 80% rezerve frekvencije srca (FS) (1), 3 – 5 dana u tjednu tijekom 20 – 40 minuta) znatno poboljšavaju  $VO_2$  i kod bolesnika nakon moždanog udara, čime isto tako bitno snižavaju rizik od recidiva moždanog udara (6).

Utjecaj tjelesne aktivnosti na sve sfere ljudskog zdravlja danas je više nego poznat. Ljudi koji se ne bave nikakvom tjelesnom aktivnošću imaju, osim već spomenutih kardiovaskularnih i cerebrovaskularnih bolesti, brojne tegobe lokomotornog sustava, kognitivne smetnje, prekomjernu tjelesnu težinu, što opet sve dovodi do još većeg smanjenja tjelesne aktivnosti i pretvara se u začarani krug izrazito opasan za zdravlje, pa i život pojedinca. Sve navedeno još je izraženije kod bolesnika nakon moždanog udara. Statistike govore da pri recidivnom moždanom udaru 76% bolesnika ima hipertenziju, 37% ishemijsku bolest srca, 56% ima hiperlipidemiju, 29% fibrilaciju atrijsku i 24% dijabetes melitus (5). Svi navedeni komorbiditeti imaju i jedan zajednički predznak, a to je smanjena tjelesna aktivnost. Statistike govore i da je nakon prvoga moždanog udara, ako bolesnik redovito uzima preporučenu terapiju koja uključuje antitrombotske lijekove, statine i antihipertenzive (kad je potrebno) te uz prikladno vježbanje, rizik od po-



navljanja moždanog udara snižen za više od 80% (5). Sve navedeno, ali bez tjelesne aktivnosti, snizit će ga, međutim, za manje od 50%. Dodatno, više od 40% osoba nakon preboljela moždanog udara navest će umor kao jedan od dominantnih simptoma, odnosno subjektivno najtežih. Umor će ih sprečavati u obavljanju svakodnevnih aktivnosti, odnosno negativno utjecati na njihov psihički status. Zatim će u začaranom krugu onemogućiti tjelesnu aktivnost zbog čega će bolesnik postati još inaktivniji, izbjegavati vježbe te, na kraju, dodatno pogoršati svoj motorički deficit. Spomenuta smanjena vršna potrošnja kisika ( $VO_2$ ) u ispitanika je nakon preboljela moždanog udara čak 26 – 87% manja nego u osoba odgovarajuće dobi i spola. Ovi se podaci odnose i na rano razdoblje nakon moždanog udara i na višegodišnje razdoblje (i više od 7 godina) nakon moždanog udara. Stoga je „propisivanje“ tjelesne aktivnosti bolesniku nakon moždanog udara jednako važno kao i propisivanje lijekova uz, dakako, oprez od pretjerivanja i prevelikog opterećenja kardiovaskularnog sustava, što se postiže redovitim praćenjem kardioloških testova i izračunom dopuštenog opterećenja (5).

Kao što je već spomenuto bolesnici nakon moždanog udara, izuzev neurološki deficit, često imaju i komplikacije vezane uz inaktivnost, elektrolitski disbalans, imunokompromitiranost, ortostatsku hipotenziju, duboku vensku trombozu te spasticitet. Već je u najranijoj fazi rehabilitacija, odnosno pasivna tjelesna aktivnost kao što su ortostaza ili antigravitacijski položaj znatan pomak u postizanju samostalne brige o sebi (5). Stoga se preporučuje posjedanje bolesnika izvan kreveta odnosno kratkotrajna ortostaza već 24 – 48 sati nakon moždanog udara, jer povišava frekvenciju srca, povećava saturaciju te poboljšava stanje svijesti. Budući da studije nisu pokazale jednoznačne rezultate vezane uz rano započinjanje ciljane fizikalne rehabilitacije, ona se provodi prema individualnoj procjeni. Nakon stabilizacije bolesnika vježbe moraju postajati intenzivnije i ciljanije, s naglaskom na funkciju gornjeg ekstremiteta, ravnotežu i radnu terapiju. Motorički se deficit, uz ostale metode rehabilitacije, znatno oporavlja primjenom aerobnih vježba čime se djeluje ne samo na lokomotorni nego i na kardiovaskularni sustav. Naposljetku, nakon uspostavljanja motorike vježbe su usmjerene na razvoj i povratak funkcija potrebnih za brigu o sebi i svakodnevne životne potrebe. Tijekom rehabilitacije ne smije se zanemariti ni redovita evaluacija postignutoga, kojom se osigurava praćenje kvalitete rehabilitacije, ali i postiže motivacija. Testovi moraju uključivati i evaluaciju kardioloških parametara uz protokole provjere motorike i ravnoteže. Protokoli se moraju prilagoditi rezidualnome motoričkom i kognitivnom deficitu bolesnika, stoga je jednostavna primjena postojećih testova katkad neprimjerena te ih je potrebno individualizirati (5). Ciljana tjelesna aktivnost nakon moždanog udara može se stoga podijeliti u nekoliko faza uz usmjeravanje prema posti-

zanju određenog cilja. U ranom razdoblju nakon moždanog udara, što se odnosi na razdoblje tijekom hospitalizacije i u 7 dana od moždanog udara, osnovni ciljevi tjelesne aktivnosti kao komplementarne metode liječenja jesu sprečavanje gubitka kondicije, razvoja hipostatske pneumonije, ortostatske intolerancije i depresije, kao i stimulacija ravnoteže i koordinacije, a sve u skladu s postojećim kognitivnim i motoričkim deficitom koji je potrebno redovito evaluirati. Ovi se ciljevi postižu stimulacijom aktivnosti oko samozbrinjavanja, pasivnim vježbama u ortostazi, čestim podizanjem bolesnika u sjedeći ili stojeći položaj te stimuliranjem samostalnih motoričkih aktivnosti. U kardiovaskularnom praćenju ovim se aktivnostima želi postići povišenje srčane akcije za 10 – 20 udaraca u minuti u odnosu prema frekvenciji srca u mirovanju u kraćim intervalima.

U razdoblju subakutnoga moždanog udara ciljevi su postizanje što dulje hodne pruge, pojačanje tjelesnog napora, omogućavanje što veće neovisnosti pri samozbrinjavanju te smanjenje neurološkog deficita bilo iz motoričke, kognitivne ili govorne domene. Provođenje vježba postaje dulje, uz preporučljivo trajanje i do 60 minuta s ponavljanjima više puta na dan (do 3 puta na dan, a vježbe se mogu ponoviti i do 15 puta tijekom jedne seanse). Ova se aktivnost provodi najmanje 3 – 5 puta na tjedan. Tijekom vježba treba pratiti srčanu akciju i vaskularnu rezervu. Vježbe su uglavnom aerobne, a uključuju hodanje, hodanje uz nagib, vježbe ruke i noge na ergometru, vožnju sobnim biciklom.

Sljedeće razdoblje obuhvaća, osim svega navedenoga, ciljane vježbe za jačanje mišića (što može uključivati i vježbe s opterećenjem posebnih grupa mišića teretom ili na posebnim spravama uz vježbe mišićne jakosti i snage i izdržljivosti), zatim vježbe istezanja te vježbe ravnoteže i koordinacije. Nerijetko su vježbe joge ili *Tai Chi* motivirajuća i korisna zamjena ili nadopuna klasičnoj fizikalnoj rehabilitaciji. Kompjutorske igre koje stimuliraju spretnost i koordinaciju ili preciznost, kao i društvene igre ili igre loptom također su dobrodošle ako su prihvatljive za bolesnika. Cilj tjelesne aktivnosti u ovoj fazi ponaprije jesu prevencija kontraktura, jačanje mišićne snage i spretnosti, tj. povrat vještina, omogućavanje neovisnosti u svakodnevnim životnim potrebama, sniženje rizika, ali i straha od ozljeda ili padova, sniženje kardiovaskularnog rizika. Tijekom svih navedenih treninga i nadalje je potrebno pratiti kardiovaskularni status, a učestalost provođenja vježba trebala bi biti barem 2 – 3 puta na tjedan (5).

Posebna se pozornost mora obratiti i na bolesnike s preboljelim teškim moždanim udarom, koji ne mogu pratiti opisane programe tjelesne aktivnosti. U toj se grupi bolesnika tjelesna aktivnost danas nastoji potaknuti primjenom elektromehaničkih pomagala za hod i pokrete, odnosno robotikom. Tijekom kombinirane klasične i robotske rehabilitacije postizanje vaskularne rezerve, motivacija, neuroplastičnost te moto-

TABLICA 1. Preporuke društava AHA/ASA za tjelesnu aktivnost/tjelovježbu osoba koje su preboljele moždani udar

Faza oporavka	Tip aktivnosti/vježba	Smjernice (F = frekvencija, I = intenzitet, T = trajanje)	Cilj programa
<b>Akutna faza (hospitalizacija i rano razdoblje oporavka)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kratkotrajno hodanje, sjedenje ili stajanje</li> <li>- aktivnosti u sjedećem položaju</li> <li>- aktivnosti za održanje opsega pokreta i motorike</li> </ul>	<p>F/T: koliko osoba može tolerirati; intervalni princip rada</p> <p>I: porast FS-a <math>\approx 10 - 20</math> otk./min u odnosu prema mirovanju; RPE <math>\leq 11</math> (skala 6 – 20)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- spriječiti dekonicioniranje, hipostatsku pneumoniju, ortostatsku intoleranciju</li> <li>- umanjiti simptome depresije</li> <li>- djelovati na ravnotežu i koordinaciju</li> <li>- evaluirati kognitivne i motoričke deficite</li> </ul>
<b>Kasnija rehabilitacija</b>	<b>Aerobne vježbe</b>	<p>F: 3 – 5 dana na tjedan</p> <p>I: 40 – 70% rezerve <math>VO_2</math> ili rezerve FS-a (izračun*); 55 – 80% maksimalnog FS-a; RPE 11 – 14 (skala 6 – 20)</p> <p>T: 20 – 60 min na seriju (ili više serija u trajanju od 10 min)</p> <p>5 – 10 min zagrijavanja i hlađenja</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- povećati brzinu hoda</li> <li>- povećati funkcionalni kapacitet (toleranciju vježbanja)</li> <li>- povećati neovisnost u svakodnevnim aktivnostima</li> <li>- reducirati motorička oštećenja i poboljšati kognitivne sposobnosti</li> <li>- potaknuti kardioprotektivne učinke</li> </ul>
	<b>Vježbe za mišićnu jakost/izdržljivost</b>	<p>F: 2 – 3 dana na tjedan</p> <p>I: 1 – 3 seta po 10 – 15 ponavljanja</p> <p>8 – 10 vježba koje uključuju velike mišićne skupine pri intenzitetu 50 – 80% od 1 RM</p> <p>– postupno povećavati otpor</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- povećati mišićnu jakost i izdržljivost</li> <li>- povećati sposobnost izvođenja svakodnevnih i profesionalnih aktivnosti</li> </ul>
	<b>Vježbe fleksibilnosti</b>	<p>F: 2 – 3 dana na tjedan (prije ili poslije aerobnog treninga ili treninga jakosti i snage)</p> <p>- statičko istezanje – izdržaj 10 – 30 s</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- povećati opseg pokreta</li> <li>- spriječiti razvoj kontraktura</li> <li>- sniziti rizik od ozljeda</li> <li>- povećati sposobnost izvođenja svakodnevnih aktivnosti</li> </ul>
	<b>Neuromuskularne vježbe</b>	<p>F: 2 – 3 dana na tjedan</p> <p>- primijeniti komplementarno aerobnom treningu, treningu mišićne jakosti i izdržljivosti te vježbama fleksibilnosti</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- poboljšati ravnotežu i mobilnost, vratiti vještine</li> <li>- smanjiti strah od padova</li> <li>- povećati sigurnost pri izvođenju svakodnevnih aktivnosti</li> </ul>

AHA = American Heart Association; ASA = American Stroke Association; FS = frekvencija srca; RPE = subjektivna procjena opterećenja (Borgova skala 6 – 20, pri kojoj 6 – 7 odgovara subjektivnom opterećenju vrlo, vrlo lagano; 15 teško; 19 – 20 vrlo, vrlo teško);  $VO_2$  = primitak kisika; 1 RM (*repetitio maximalis*) = težina koja se može podići samo jednim ispravno izvedenim ponavljanjem; određuje se za pojedinu vježbu i na temelju toga se određuje opterećenje u treningu jakosti i snage kao postotak od 1 RM

\*rezerva FS-a – rezerva frekvencije srca izračunava se kao maksimalna procijenjena frekvencija srca za dob ( $FS_{maks.} = 220 - \text{dob}$ ) umanjena za frekvenciju srca u mirovanju ( $FS_{maks.} - FS_{mir.}$ ); željeni postotak izračunane rezerve frekvencije pribraja se frekvenciji srca u mirovanju i tako se dobije trenažna frekvencija srca, tj. frekvencija srca koja se treba postići tjelesnom aktivnošću radi osiguranja odgovarajućeg učinka. Npr., postupak izračunavanja intenziteta od 50% rezerve frekvencije srca za osobu od 40 godina kojoj je frekvencija srca u mirovanju 70 otk./min:  $FS_{maks.} = 220 - 40 = 180$  otk./min. Rezerva  $FS_{maks.} - FS_{mir.} = 180 - 70 = 110$  otk./min. FS pri 50% rezerve FS-a =  $0,5 \times 110 + 70 = 125$  otk./min.

**Prilagođeno prema ref. 5.**

rička snaga i spretnost bili su znatno bolji od samo klasične rehabilitacije (5).

Rezultati dodatne tjelesne aktivnosti nakon moždanog udara praćeni su u nekoliko studija te su primarno upozorili na poboljšanje općeg stanja bolesnika, sniženje rizika od kardiovaskularnih bolesti i recidiva moždanog udara te poboljšanje raspoloženja i kognitivnog statusa u grupi bolesnika koji su provodili tjelesnu aktivnost minimalno dva puta na tjedan. Usprkos svemu navedenom postoji još velik dio područja za koja nedostaju kliničke studije, odnosno medicina potkrijepljena dokazima. Na prvom je mjestu svakako potrebno definiranje čimbenika koji utječu na mogućnost praćenja pojedinih programa tjelesne aktivnosti te stvaranje optimalnih protokola i postupnika za tjelesnu aktivnost nakon određenih oblika moždanih udara. Zatim, još nije dokazano koja točno vrsta tjelesne aktivnosti donosi najveću dobrobit za kardiovaskularni i funkcionalni status bolesnika. Nije nevažan ni čimbenik utjecaja koristi i cijene pojedinih programa s aspekta osiguravatelja i dostupnosti programa, što također nije

do kraja istraženo područje. Na kraju, potrebno je definirati i mjerila kvalitete, odnosno ishoda pojedinih programa da bi se mogli uključiti u programe redovite zdravstvene zaštite.

Jednoznačan recept ciljanog vježbanja ne postoji. No prije početka programa treninga (bez obzira na to radi li se o osobi koja je preboljela moždani udar ili nije) nužni su kompletan pregled i provjera određenih funkcija i komorbiditeta. Za bolesnike nakon moždanog udara to je i pregled uz procjenu motoričkih funkcija i mogućnosti, stabilnosti i ravnoteže, kao i jezičnih i kognitivnih eventualnih deficita. Vježbanje se tada prilagođava stanju i komorbiditetu uz, ako je potrebno, postupno povećanje težine i duljine vježba (tablica 1.) (5).

Tjelesna aktivnost i ciljane vježbe pospješit će proces rehabilitacije izravnim utjecajem na motoriku, ali i na neuroplastičnost odnosno regeneracijske procese u samome središnjem živčanom sustavu, ne zanemarišući pritom dokazani utjecaj tjelesne aktivnosti i na više kognitivne funkcije i raspoloženje te na sniženje ukupnog rizika od recidiva cerebrovaskularnih i kardiovaskularnih bolesti.

## LITERATURA

1. Voss P, Thomas ME, Cisneros-Franco JM, de Villers-Sidani É. Dynamic Brains and the Changing Rules of Neuroplasticity: Implications for Learning and Recovery. *Front Psychol* 2017;8:1657. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.01657.
2. Hara Y. Brain plasticity and rehabilitation in stroke patients. *J Nippon Med Sch* 2015;82:4–13. DOI: 10.1272/jnms.82.4.
3. Dinoff A, Herrmann N, Swardfager W i sur. The Effect of Exercise Training on Resting Concentrations of Peripheral Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF): A Meta-Analysis. *PLoS One* 2016;11:e0163037. DOI: 10.1371/journal.pone.0163037.
4. Alia C, Spalletti C, Lai S i sur. Neuroplastic Changes Following Brain Ischemia and their Contribution to Stroke Recovery: Novel Approaches in Neurorehabilitation. *Front Cell Neurosci* 2017;11:76. DOI: 10.3389/fncel.2017.00076.
5. Billinger SA, Arena R, Bernhardt J i sur.; American Heart Association Stroke Council; Council on Cardiovascular and Stroke Nursing; Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health; Council on Epidemiology and Prevention; Council on Clinical Cardiology. Physical activity and exercise recommendations for stroke survivors: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* 2014;45:2532–53. DOI: 10.1161/STR.0000000000000022.
6. Pang MY, Eng JJ, Dawson AS, Gylfadóttir S. The use of aerobic exercise training in improving aerobic capacity in individuals with stroke: a meta analysis. *Clin Rehabil* 2006;20:97–111. DOI: 10.1191/0269215506cr926oa.



### ADRESA ZA DOPISIVANJE:

rof. dr. sc. Zdravka Poljaković  
Zavod za intenzivno liječenje i cerebrovaskularne  
bolesti  
Klinika za neurologiju  
KBC Zagreb  
Kišpatićeva 12, 10000 Zagreb  
e-mail: zdravka.po@gmail.com

### PRIMLJENO/RECEIVED:

2. 5. 2019./May 5, 2019

### PRIHVAĆENO/ACCEPTED:

16. 6. 2019./June 16, 2019

