

UTICAJ FIZIČKOG VEŽBANJA NA UNAPREĐENJE KOGNITIVNIH FUNKCIJA

Stanislava Popov, Fakultet za sport i turizam, Novi Sad

Ivana Jakovljević, Filozofski fakultet, Novi Sad

Sažetak

U ovom radu je dat pregled savremenih naučno-istraživačkih studija koje se bave uticajem fizičkog vežbanja na kognitivno funkcionisanje ljudi. Jedan od ciljeva interdisciplinarnе neuronauke koja povezuje oblasti psihologije, medicine i sporta jeste otkrivanje mehanizama kojim fizičko vežbanje utiče na unapređenje kognitivnih funkcija u svim uzrastima, naročito u procesu starenja, kada kognitivna efikasnost prirodno opada. Rezultati postojećih istraživanja pokazuju da fizičko vežbanje može proizvesti benefit za kognitivno funkcionisanje tokom čitavog životnog veka i to neposredno, preko fizioloških mehanizama i strukturalnih promena u mozgu, i posredno putem uticaja na raspoloženje i redukciju stresa. Međutim, istraživanja pokazuju da efekti fizičkog vežbanja zavise od intenziteta fizičke aktivnosti – dok umereni intenzitet fizičke aktivnosti ima pozitivan uticaj na kognitivno funkcionisanje, vežbe visokog intenziteta pokazuju obrnuti efekat. Takođe, istraživanja sugerišu da efekat fizičkog vežbanja na kognitivno funkcionisanje zavisi i od vrste fizičke aktivnosti koja se upražnjava. Ukupno gledano, fizičko vežbanje može da proizvede pozitivne efekte u kontekstu različitih kognitivnih procesa, ali istraživanja još uvek ne nude jasan mehanizam tog uticaja. Nedostaju i jasni odgovori na pitanja u kojoj meri se razlikuju efekti različitih fizičkih aktivnosti, i da li su takvi efekti specifični za određene kognitivne procese ili se neki od njih mogu generalizovati na celokupno kognitivno funkcionisanje.

Ključne reči: fizičko vežbanje, kognitivne funkcije, starenje

THE INFLUENCE OF PHYSICAL EXERCISE ON IMPROVEMENT OF COGNITIVE FUNCTIONS

Abstract

This paper reviews contemporary studies on the influence of physical exercise on human cognitive functioning. One of the aims of the interdisciplinary neuroscience that connects psychology, medicine and sport, is in discovering the mechanisms by which physical exercise might improve cognitive functioning across the lifespan, especially in the old age, when cognitive efficiency naturally decreases. Studies have shown that physical exercise produces cognitive benefit over the lifetime, both directly, through physiological mechanisms and structural brain changes, and indirectly, through mood improvement and stress reduction. However, studies have shown that the effects of physical exercise depend on the exercise intensity - while moderate physical activity has a positive impact on the cognitive functioning,

the high-intensity exercise shows the reversed effect. Also, studies have suggested that the effect of physical exercise on cognitive functioning depends on the type of physical activity. Overall, studies have demonstrated that physical exercise may produce positive effects on different cognitive processes, but still have not provided a clear mechanism underlying this influence. Also, existing studies have not revealed to what extent the various physical activities differ in their effects and whether such effects are specific or potentially beneficial for cognitive functioning in general.

Keywords: Physical exercise, Cognitive functions, Aging

TIMS Acta (2017) 11, 111-120

Uvod

U svakodnevnom životu, fizičko vežbanje se povezuje sa mentalnim procesima najčešće kroz razmatranje uticaja vežbanja na raspoloženje. Pored profesionalnog bavljenja sportom, ljudi vežbaju radi rekreacije i očuvanja fizičkog, ali i mentalnog zdravlja. Brojna istraživanja ukazuju na povezanost rekreativnog upražnjavanja fizičke aktivnosti i psihološkog blagostanja (Hassmen, Koivula, & Uutela, 2000; Scully, Kremer, Meade, Graham, & Dudgeon, 1998).

Dabise održavala fizička forma, nesporno je potrebno upražnjavati neki oblik fizičke aktivnosti, odnosno vežbati. Sa druge strane, kada ljudi žele da „treniraju“ svoje kognitivne funkcije i održavaju ih u dobroj formi, obično upražnjavaju aktivnosti koje angažuju upravo ove funkcije: rešavaju logičke zadatke, igraju šah, uče strane jezike, rešavaju skandinavke, itd. Glavno pitanje koje se postavlja u kontekstu ovakvih „mentalnih treninga“ jeste da li su njihovi efekti opšti ili se unapređenje može uočiti samo u specifičnim veštinama koje se treniraju (Ericsson, 1996). Novije studije uglavnom idu u prilog potonjem – uvežbavanje jedne kognitivne funkcije (npr. radne memorije) može da dovede do unapređenja te funkcije, ali se unapređenje ne generalizuje na druge kognitivne procese (npr. planiranje i inhibiciju odgovora; Owen, et al., 2010; Thorell, Lindqvist, Nutley, Bohlin, & Klingberg, 2009).

Sa druge strane, mnogo ređe se govori o tome da i fizičko vežbanje može blagotvorno uticati na kognitivne procese kao što su opažanje, pažnja, memorija, mišljenje, učenje i egzekutivne funkcije, kao i da se fizičkim vežbanjem može smanjiti rizik od pojave demencije i drugih neurodegenerativnih oboljenja. Brojna istraživanja iz domena neuronauka i drugih interdisciplinarnih oblasti

koje povezuju psihologiju, sport i medicinu, govore upravo u prilog tome da određene vrste fizičke aktivnosti doprinose unapređenju kognitivnog funkcionisanja (Antunes, et al., 2006; Gajewski & Falkenstein, 2016; Lautenschlager, Cox, & Cyarto, 2012; Stuer, 2009).

Prva istraživanja koja su se bavila vezom između vežbanja i unapređenja kognitivnih funkcija bila su sprovedena na životinjama. U svojoj studiji, Fordaj i Farar (1991) utvrdili su promene u hipokampalnoj regiji kod pacova koji su svakodnevno trčali na pokretnoj traci, a koje su manifestovane u unapređenju prostornog učenja kod ovih životinja (Fordyce & Farrar, 1991). Slični efekti zabeleženi su i kod miševa nakon trčanja na pokretnom točku (Samorajski, et al., 1985). Istraživanja su, takođe, pokazala da fizička aktivnost kod pacova dovodi do povećanja kapilarne gustine malog mozga i do povećanja broja sinapsi u ovoj regiji (Black, Isaacs, Anderson, Alcantra, & Greenough, 1990), do povećane neurogeneze u hipokampusu (van Praag, Kempermann, & Gage, 1999), kao i do povećanja lučenja neurotrofina BDNF, proteina važnog za vitalnost i funkcionisanje neurona (Neeper, Gomez, Choi, & Cotman, 1995). Nakon ovih rezultata, prirodno se nametnulo pitanje da li se gorenavedene neurohemijske i neuroplastične promene mogu zabeležiti i kao posledica fizičke aktivnosti kod ljudi, kao i da li se te promene ogledaju u promenama u kognitivnom funkcionisanju. U nastavku teksta, biće prikazani rezultati istraživanja koja su pokušala da daju odgovore na ova pitanja.

Mehanizam delovanja fizičkog vežbanja na kognitivne funkcije čoveka

Uprkos ohrabrujućim rezultatima o uticaju aerobnog vežbanja na moždane funkcije životinja, a koje se dovode

u vezu sa unapređenjem kognitivnog funkcionisanja, rezultati prvih istraživanja sa ljudima su bili dovedeni u pitanje, pre svega, zbog korišćene metodologije istraživanja. Ono što se zamera ovim istraživanjima je, pre svega, činjenica da je većina istraživanja zanemarivala psihofizičko stanje ispitanika pre eksperimentalne manipulacije vežbanjem, kao i činjenica da je fizičko vežbanje bilo nekonzistentno u trajanju i intenzitetu. Dodatni razlog zbog kojeg iz ovih istraživanja nije bilo moguće izvući jedinstveni zaključak, jeste činjenica da su istraživanja bila heterogena po pitanju starosti ispitanika i neusaglašena po pitanju toga da li se efekat fizičkog vežbanja može manifestovati u nižim ili višim kognitivnim funkcijama ili i u jednim i u drugim (Colcombe & Kramer, 2003). Naime, dok se fizičko vežbanje, kao nezavisna varijabla, razlikuje prema intenzitetu i trajanju, zadaci kojima se ispituju kognitivni procesi se razlikuju po tome da li angažuju niže kognitivne funkcije (poput percepcije) ili više kognitivne funkcije (poput egzekutivnih funkcija). Neka od prvih istraživanja u ovoj oblasti, uspela su da pokažu efekat fizičkog vežbanja na prosto vreme reakcije (brzinu pritiskanja tastera), koje uglavnom angažuje niže kognitivne procese (Dustman, et al., 1984). Primenjujući široku bateriju neuropsiholoških testova, Šej i Rot (1992) pokazali su efekat fizičkog vežbanja samo na uspeh u vizuo-spacijalnim zadacima, a na osnovu čega su izneli tvrdnju da su efekti fizičkog vežbanja naročito vidljivi u onim procesima kod kojih postoji veća verovatnoća propadanja usled starenja (Shay & Roth, 1992). Nakon tih rezultata, istraživači počinju da sugerišu da efekat fizičkog vežbanja treba tražiti u kognitivnim zadacima koji zahtevaju kontrolisani kognitivni napor, a ne u onima koji se zasnivaju na automatskim procesima (Chodzko-Zajko & Moore, 1994). U svojoj preglednoj studiji, Hal i saradnici su analizirali postojeće studije i zaključili da se efekat fizičkog vežbanja manifestuje gotovo jedino u radu egzekutivnih funkcija (Hall, Smith, & Keele, 2001). Egzekutivne funkcije predstavljaju složene kontrolne procese, koji koordinišu i regulišu rad ostalih kognitivnih procesa u kompleksnim situacijama u kojima automatski procesi nisu dovoljni za reagovanje (Friedman, et al., 2008). Dalje, Hal i saradnici naglašavaju da fizičko vežbanje unapređuje procese poput koordinacije, inhibicije, planiranja akcije, radne memorije, ali ne i senzorne procese, poput zadataka u kojima se meri prosto vreme reakcije (Hall, et al.,

2001). Prema ovim autorima, fizičko vežbanje pokazuje pozitivan uticaj na protok krvi u frontalnim moždanim zonama, koje su dominantno zadužene za više kognitivne funkcije.

Poslednjih godina, objavljeno je mnoštvo studija koje ukazuju na pozitivni efekat fizičkog vežbanja na moždane funkcije i to kroz više različitih fizioloških mehanizama: vaskularni (Kalaria, 2010); metabolički (Cotman, Berchtold, & Christie, 2007), inflamatorni (Archer, Svensson, & Ahricsson, 2012) i putem regulacije stresa (Tsatsoulis & Fountoulakis, 2006). Pre manje od decenije, objavljena je istraživačka studija japanskih naučnika koja je pokazala direktan uticaj vežbanja na protok krvi u mozgu i poboljšanje funkcionalnosti različitih neurotransmitera koji su esencijalni za kognitivne procese (Kashihara, Maruyama, Murota, & Nakahara, 2009). Između ostalog, serotonin i beta-endorfin koji se u centralnom nervnom sistemu luče nakon vežbanja, predstavljaju važne aspekte fiziološke osnove memorije (Kashihara, et al., 2009).

Veliki broj dosadašnjih istraživanja pokazao je pozitivan uticaj fizičke aktivnosti na fiziološke osnove memorije. Naime, istraživanja pokazuju da efekat fizičkog vežbanja na kognitivne funkcije može posredno da zavisi od fizioloških promena izazvanih poboljšanjem cirkulacije, insulinu sličnog, faktora rasta (IGF1), koje se povezuju sa ublažavanjem anksioznosti, ali i sa povećanom neurogenezom u hipokampusu (Trejo, et al., 2008). S obzirom na to da hipokampus predstavlja neuralnu osnovu za mnoge procese povezane sa memorijom, pretpostavlja se da povećana neurogeneza u ovoj oblasti može da se manifestuje kroz unapređenje procesa memorije. Fizičko vežbanje utiče na hipokampalni memorijski sistem i preko povećanog lučenja kortizola, čime se reguliše kortiko-steroidni odgovor na stres. Stres, naročito hronični, povezan je sa poremećajem funkcije i oštećenjem hipokampusa (Tsatsoulis & Fountoulakis, 2006). Dodatno, fizičko vežbanje utiče na unapređenje procesa učenja i memorije, utičući i na dugoročnu potencijaciju (LTP), tj. dugotrajno poboljšanje komunikacije između neurona, koja predstavlja jedan od najvažnijih aspekata ovih kognitivnih procesa (Farmer, et al., 2004; Nagappan & Lu, 2005).

Istraživanja u poslednjih nekoliko godina naglašavaju da aerobne vežbe, kao i vežbe izdržljivosti, okidaju

produkciju hormona pod nazivom *irisin* (Bostrom, et al., 2012). „Hormon vežbanja“ *irisin*, poznat i kao FNDC5, ima širok spektar pozitivnog delovanja na opšte psihofizičko zdravlje, a između ostalog stimuliše gene odgovorne za procese učenja i memorije i usporava proces starenja. U svojoj studiji, Bostrom i saradnici (2012) ističu važnost ovog hormona za razvoj novih tretmana dijabetesa, gojaznosti, pa čak i nekih oblika kancera. Hormon *irisin*, takođe, pomaže organizmu da sagori masne ćelije i pretvori ih u energiju, umesto da ih skladišti. Tačnije, za razliku od drugih materija koje se u mišićima stvaraju tokom vežbanja, *irisin* ostaje u organizmu, pretvara bele masne ćelije u smeđe, koje troše kalorije, jer im je za funkcionisanje potrebna energija. Iako se donedavno smatralo da odrastao čovek nema smeđih masnih ćelija, već da se one gube u detinjstvu, u nedavnim ispitivanjima je potvrđeno njihovo postojanje i kod odraslih ljudi (Betz & Enerback, 2015). Istraživanja su pokazala da se nivo *irisina* u organizmu povećava kao rezultat aerobnih vežbi, ali ne i tokom kratkotrajne anaerobne mišićne aktivnosti (Bostrom, et al., 2012; Wu, et al., 2012). Istraživanja iste grupe naučnika pokazala su i da lučenje *irisina* štiti organizam od kognitivnog propadanja i degeneracije, kao i da ovaj hormon podstiče neurogenezu (razvoj novih neurona). Takođe, pokazali su da podizanje nivoa *irisina* povećava sekreciju neurotrofnog *moždanog* faktora (*BDNF*) koji ima važnu ulogu u razvoju i funkcionisanju neurona, a takođe utiče na aktivaciju gena uključenih u učenje i memoriju. Aerobno vežbanje se povezuje sa stimulacijom *BDNF* sekrecije, ali pomenute studije otkrivaju lančanu reakciju između *irisina* i ovog neurotrofnog *moždanog* faktora, koji takođe utiče i na sinaptičku plastičnost. U studiji Bostroma i saradnika (2012) se navodi da se umerenom dnevnom aerobnom aktivnošću mogu postići prirodni benefiti *irisina*, bez uzimanja ovog hormona u suplementima, koji uvek mogu imati i neželjene efekte. Važno je napomenuti da fizičko vežbanje, takođe, potpomaže lučenje i regulaciju polnih hormona, estrogena i testosterona koji indirektno utiču na nivo neurotrofina i neurogenezu (Galea, Spritzer, Barker, & Pawluski, 2006; Handa, Ogawa, Wang, & Herbison, 2012).

Uzroci unapređenja kognitivnih funkcija kroz fizičku aktivnost nisu samo fiziološke, već i psihološke prirode. Drugim rečima, pored direktnog uticaja na fiziološke

osnove kognitivnih funkcija, umerena fizička aktivnost utiče na kognitivne procese i posredno, preko pozitivnog uticaja na afektivno stanje ljudi, kroz redukciju stresa, anksioznosti i depresije (Fox, 2000; Paluska & Schwenk, 2000; Scully, et al., 1998). Između ostalog, vežbanje pospešuje raspoloženje usled lučenja noradrenalina direktno u centralni nervni sistem (McMorris, et al., 2003). Dodatno, istraživanja su pokazala da trideset minuta vežbanja na traci za trčanje sa 60% maksimalne potrošnje kiseonika (VO_{2max}) značajno povećava beta-endorfin kod vežbača (Kamijo, et al., 2009). Na taj način, akutna fizička aktivnost u nivou aerobnog praga, može da unapredi raspoloženje, koje, zatim, pozitivno utiče i na kognitivnu efikasnost.

Positivni efekti aerobnog vežbanja istraživani su i kroz ispitivanje frontalne EEG asimetrije. Naime, veća aktivnost levog frontalnog režnja povezuje se sa pozitivnim afektivnim odgovorom, dok se veća aktivnost desnog frontalnog režnja povezuje sa negativnim afektivnim odgovorom (Davidson, 2004). U svojoj studiji, Hal i saradnici pokazali su veću frontalnu aktivnost leve hemisfere nakon intenzivnog 20-minutnog vežbanja na traci za trčanje koja je povezana sa pozitivnim afektivnim odgovorom, a koji se nakon vežbanja manifestuje kao doživljaj smirenosti i prijatan osećaj umora, nasuprot napetosti i uznemirenosti (Hall, Ekkekakis, & Petruzzello, 2007).

Da fizička aktivnost utiče i na kognitivno i na afektivno funkcionisanje osobe, pokazalo je i istraživanje koje je ispitivalo starosne razlike u kognitivnom učinku i afektivnom iskustvu neposredno nakon umerenog fizičkog vežbanja (Hogan, Mata, & Carstensen, 2013). U ovom istraživanju je učestvovalo 144 ispitanika uzrasta između 19 i 93 godine. Eksperimentalna grupa ispitanika vozila je trenažni bicikl umerenim intenzitetom tokom 15 minuta, dok je kontrolna grupa tokom istog vremenskog perioda rangirala neutralne IAPS fotografije¹. Pre i posle eksperimentalne manipulacije, ispitanici su radili zadatak koji angažuje radnu memoriju i mereno im je trenutno afektivno stanje. Rezultati ove studije pokazali su kraće vreme reakcije u zadatku radne memorije u odnosu na pretest kod eksperimentalne grupe, nezavisno od uzrasta, dok takav efekat nije zabeležen kod kontrolne grupe (Hogan, et al., 2013). Nije bilo napretka u pogledu tačnosti u zadatku ni kod jedne grupe. Što se tiče uticaja

vežbanja na afektivno stanje, rezultati ove studije pokazali su da je fizička aktivnost bila praćena povećanim nivoom visoko pobuđujućeg pozitivnog afekta (tzv. HAP²) i sniženim nivoom nisko pobuđujućeg pozitivnog afekta (tzv. LAP), dok takvih promena nije bilo u kontrolnoj grupi. Mlađi ispitanici češće su izveštavali o padu LAP nakon vežbanja, dok je efekat vežbanja na HAP bio konzistentan kroz sve uzraste, što ukazuje na to da uzrast moderira efekte fizičkog vežbanja na LAP (Hogan, et al., 2013). Autori ove studije naglašavaju važnost daljeg ispitivanja mehanizama koji leže u osnovi uticaja fizičkog vežbanja na kognitivne i afektivne procese, sugerišući kompleksni odnos između fizičke aktivnosti, afektivnog stanja i kognitivnog funkcionisanja.

Uticaj fizičkog vežbanja na kognitivno funkcionisanje u različitim uzrastima

Povezanost između umerene fizičke aktivnosti i unapređenja kognitivnih funkcija zabeležena je, kako kod dece u razvoju, tako i kod starijih odraslih osoba. Sa jedne strane, umerena fizička aktivnost u ranom uzrastu ostavlja dugoročne posledice na kognitivno funkcionisanje u odrasloj dobi, ali istraživanja pokazuju da i započinjanje fizičkih aktivnosti u kasnijim životnim razdobljima može imati značajne pozitivne efekte. U studiji izvedenoj 2010. godine na uzorku dečaka osnovnoškolskog uzrasta (između 7 i 10 godina starosti), demonstrirano je da je eksperimentalna grupa, koja je upražnjavala 30 minuta aerobnog vežbanja, pokazala značajno smanjenje vremena reakcije u kognitivnim zadacima koji angažuju egzekutivne funkcije u odnosu na kontrolnu grupu koja je prethodno gledala televiziju (Ellemborg & St. Louis-Deschênes, 2010). Obe grupe ispitanika su testirane neposredno pre i neposredno posle eksperimentalne manipulacije. Ovakvi rezultati su veoma važni za obrazovne programe kojima se planira količina i vreme fizičkih aktivnosti u školama.

U preglednoj studiji koja je analizirala istraživanja o povezanosti između fizičkog vežbanja i kognitivnog funkcionisanja u dečijem uzrastu, pokazano je da je veliki broj studija uspeo da demonstrira vezu između akutnog i dugotrajnog fizičkog vežbanja sa jedne, i kognitivnog funkcionisanja, sa druge strane (Tomporowski, McCullick, Pendelton, & Pesce, 2015). Poseban akcenat,

u ovoj preglednoj studiji, stavljen je na istraživanja koja su pokazala unapređenje u egzekutivnim funkcijama, kao što su planiranje, kontrola, i sposobnost inhibicije odgovora (Davies, et al., 2011; Hillman, et al., 2009;). Naročito su važni rezultati studija koje pokazuju da je efekat na kognitivno funkcionisanje veći ukoliko fizički trening nije repetitivan, već kognitivno zahtevan (npr. uključuje brzo smenjivanje uslova, što zahteva angažovanje pažnje i brzog donošenja odluka; Pesce, Crova, Cereatti, Casella, & Bellucci, 2009; Lakes & Hoyt, 2004). Ovakve rezultate je, takođe, neophodno imati u vidu prilikom osmišljavanja fizičke aktivnosti dece u školama. Međutim, autori ove pregledne studije ističu nemogućnost da se ustanovi jasna veza između fizičke aktivnosti i akademskog postignuća učenika. Naime, u odnosu ove dve varijable uključen je veliki broj medijator i moderator varijabli, od kojih neke svakako jesu fluidna inteligencija, memorija i egzekutivne funkcije (Tomporowski, et al., 2015). Stoga, ovo polje istraživanja je još uvek u razvoju i zahteva dodatne studije, upravo zbog kompleksnog odnosa između ispitivanih varijabli.

Za starenje se obično vezuje opadanje senzornih, motornih i specifičnih kognitivnih sposobnosti (Park, O'Connell, & Thomson, 2003). Ove promene zavise od genetike, ali i od načina života (Zhao, Tranovich, & Wright, 2014). U većem broju studija je potvrđeno da fizička aktivnost ne doprinosi samo fiziološkom zdravlju i očuvanju motornih sposobnosti tokom godina, već pozitivno utiče i na kognitivno funkcionisanje (Gomez-Pinilla & Hillman, 2013; Hayes, Hayes, Cadden, & Verfaellie, 2013; Kramer & Erickson, 2007; Voelcker-Rehage & Niemann, 2013), i to uglavnom u oblasti egzekutivnih funkcija. Drugim rečima, fizičko vežbanje može proizvesti dugoročne kognitivne benefite. U studiji u kojoj je učestvovalo 2747 ispitanika, pokazano je da su osobe koje su upražnjavale kardio-respiratorni fitness (CRF) tokom ranog odraslog doba postizale bolje rezultate na različitim kognitivnim testovima u sredovečnom dobu (između 45 i 55 godina), u odnosu na svoje vršnjake koji nisu upražnjavali ovakvu vrstu aktivnosti (Zhu, et al., 2014). U ovoj studiji, ispitanici starosti 25 godina (u proseku) su podvrgnuti kardio testu na traci za trčanje i ponovo testirani dvadesetak godina kasnije. Rezultati studije su pokazali da su ispitanici koji su pokazali najmanji pad u kardio-respiratornoj funkciji, odnosno, oni koji su

zadržali kontinuitet redovnim vežbanjem, postizali bolji uspeh u zadacima verbalne memorije i psihomotorne brzine (Zhu, et al., 2014). Prema autorima ove studije, CRF utiče na kognitivno funkcionisanje kroz regulaciju protoka krvi kroz mozak, ali, takođe, nizak CRF dovodi do različitih promena u mozgu, uključujući lezije bele mase i atrofiranja određenih delova sive mase, što, posledično, dovodi do oslabljenog kognitivnog funkcionisanja.

Važno je istaći i da studije pokazuju da različiti tipovi treninga proizvode različite efekte na moždane funkcije, a samim tim i na kognitivno funkcionisanje. To potvrđuje longitudinalna studija koja je poredila efekte kardiovaskularnog treninga i treninga koordinacije na kognitivnu egzekutivnu kontrolu i obradu vizuo-spacijalnih informacija kod starijih osoba (Voelcker-Rehage, Godde, & Staudinger, 2011). Uzorak je činilo 44 ispitanika starosti između 62 i 79 godina koji su trenirali tri puta nedeljno tokom 12 meseci. Njihov fizički i kognitivni performans je testiran pre početka treniranja, a zatim nakon šest i dvanaest meseci. Pored bihevioralnih zadataka (Flanker testa i zadatka vizuelne pretrage), za praćenje promena u moždanoj aktivaciji korišćena je funkcionalna magnetna rezonanca (fMRI). Rezultati ovog istraživanja pokazali su da su obe vrste treninga dovele do boljih rezultata u bihevioralnim zadacima nakon vežbanja, dok takvog napretka nije bilo u kontrolnoj grupi u kojoj su ispitanici tokom praćenog perioda upražnjavali treninge relaksacije i istezanja (Voelcker-Rehage, et al., 2011). Neurofiziološki podaci pokazali su umanjenu aktivnost prefrontalnih zona pri izvršavanju kognitivnih zadataka kod eksperimentalne grupe, što ukazuje na efikasnije procesiranje informacija u odnosu na kontrolnu grupu. Nadalje, ova studija pokazala je da je kardiovaskularni trening bio povezan sa povećanom aktivacijom senzomotorne mreže, dok je trening koordinacije bio povezan sa povećanom aktivacijom u vizuo-spacijalnoj mreži. Rezultati opisane studije sugerišu da različite vrste fizičkih aktivnosti mogu uticati na unapređenje kognitivnih funkcija kod starijih osoba, ali da se vrste i mehanizmi promena mogu razlikovati u odnosu na tip treninga, što predstavlja važan podatak za buduće studije u ovoj oblasti.

Još jedno važno istraživačko pitanje u okviru ove oblasti tiče se mogućnosti da se fizičkom aktivnošću preveniraju neurodegenerativne bolesti u starosti, kao

što su demencija i Alchajmerova bolest. Rezultati postojećih studija su veoma ohrabrujući, i pokazuju da fizičko vežbanje zaista može umanjiti rizik od različitih neurodegenerativnih oboljenja (Abbott, et al., 2004; Brown, Peiffer, & Martins, 2013; Colcombe, et al., 2003; Kramer & Erickson, 2007). Između ostalog, grupa finskih naučnika je 2015. godine objavila studiju koja je pokazala da se fizičkom aktivnošću tokom srednjeg životnog doba može prevenirati pojava demencije u kasnijem životnom dobu (Tolppanen, et al., 2015). Rezultati pomenute studije sugerišu da rekreativno fizičko vežbanje, koje se upražnjava najmanje dva puta nedeljno, ostvaruje maksimalne neuroprotektivne efekte za ljude oba pola, različitog uzrasta i stepena genetske osetljivosti. Drugim rečima, ljudi koji upražnjavaju fizičko vežbanje, čak i u srednjim godinama života, nalaze se pod manjim rizikom za razvoj neurodegenerativnih bolesti, u odnosu na one koji nisu fizički aktivni (Tolppanen, et al., 2015). Posebno je zanimljiv rezultat koji pokazuje da najveći kognitivni benefit ostvaruju gojazne osobe, što se tumači time da su pre započinjanja ovih aktivnosti, verovatno, imale sedentarni stil života, što ukazuje na benefite fizičke aktivnosti bez obzira na period života u kom je započeta.

Učenje (novih) motornih veština ili obnavljanje već ranije usvojenih, ali nekorišćenih, je, nameran i ka cilju usmeren, proces koji rezultira dugoročnom stabilizacijom i adaptacijom fizičkog i kognitivnog performansa jer je direktno povezan sa unapređenjem neuroplasticiteta mozga (Cai, Chain, Yan, & Peng, 2014). Iako se neuroplasticitet laički više povezuje sa kritičnim periodima u detinjstvu, strukturalne promene i unapređenja u oblasti moždanog neuroplasticiteta mogući su tokom čitavog životnog veka (Ponti, Peretto, & Bonfanti, 2008). Trening motornih veština kod dece sa razvojnim problemima tokom senzitivnog perioda dovodi do poboljšanja u neuroplasticitetu mozga što je od suštinske važnosti za njihov rehabilitacioni proces (Ito, 2004). Kod starijih ispitanika se, takođe, beleži napredak u motornim veštinama koje se usvajaju, što dalje može dovesti do promena u neuroplasticitetu mozga (Christou, Poston, Enoka, & Enoka, 2007; Voelcher-Rehage & Willimczik, 2006). Drugim rečima, učenje novih motornih veština može usporiti kognitivno starenje³ (Daffner, 2010). Ovakvi rezultati doveli su do formulisanja pojma „uspešnog starenja” koje se

odnosi na ljude kod kojih postoji manji stepen regresije kognitivnih sposobnosti, a viši stepen uspešnog održavanja kognitivnog funkcionisanja usled aktivnog socijalnog života, mentalnog i fizičkog treninga, koji stoji nasuprot funkcionalnom propadanju usled uobičajenog procesa biološkog i kognitivnog starenja (Duay & Bryan, 2006; Sala-Llonch, et al., 2012).

Zaključak

Veliki broj studija pokazao je da redovna fizička aktivnost, ali i akutno vežbanje, mogu poboljšati kognitivno funkcionisanje ljudi, bez obzira na njihov uzrast. Dosadašnje studije pokazale su efekat fizičke aktivnosti na percepciju (Shay & Roth, 1992), pažnju (Pesce, et al., 2009), memoriju (Zhu, et al., 2014), kao i egzekutivne funkcije (Daly, McMinn, & Allan, 2014). Takođe, pokazano je da fizičko vežbanje umanjuje rizik od neurodegenerativnih bolesti, kao što su demencija (Ahlskog, Geda, Graff-Radford, & Petersen, 2011) i Alchajmerova bolest (Brown, Peiffer, & Martins, 2013; Henderson, 2014). Kao objašnjenje ovih efekata, autori navode direktni uticaj fizičke aktivnosti na fiziološke procese u mozgu i strukturu zona koje su angažovane u različitim kognitivnim procesima (Kashihara, et al., 2009; Trejo, et al., 2008), ali i posredan uticaj preko uticaja na raspoloženje i afekat, koji potom utiču na kognitivno funkcionisanje (Fox, 1999; Hogan, et al., 2013). Ipak, važno je naglasiti da postojeće studije i dalje ne pružaju jasan odgovor na specifična pitanja poput toga u kojoj meri se efekti fizičkog vežbanja mogu videti na različitim nivoima kognitivnog funkcionisanja, kako se razlikuju efekti različitih fizičkih aktivnosti, kao i da li su takvi efekti specifični za određene kognitivne procese ili se neki od njih mogu generalizovati na celokupno kognitivno funkcionisanje. Takođe, kompleksni odnos između fizičkog vežbanja, afektivnog stanja i kognitivnog funkcionisanja nije do kraja razjašnjen, što ostaje budućim studijama iz ove oblasti.

Ono što je važno istaći jeste da sve studije navedene u ovom pregledu naglašavaju kognitivni benefit od rekreativnog vežbanja, koje se razlikuje po intenzitetu i trajanju od rigoroznog treninga u profesionalnom i vrhunskom sportu. Istraživanja ukazuju na to da umerena količina fizičke aktivnosti može povoljno

uticati na kognitivne funkcije. Umereni kardiovaskularni trening može vratiti „sat unazad“ u biološkom smislu i kod starijih osoba proizvesti neuralnu aktivaciju sličnu onoj koja se beleži kod mlađih odraslih osoba (Ahlskog, et al., 2011; Colcombe & Kramer, 2003; Hillman, et al., 2008). Sa druge strane, visoko naporne fizičke aktivnosti često umanjuju ovaj efekat. Istraživanja pokazuju da se veza između napornog vežbanja i unapređenja kognitivne efikasnosti može prikazati obrnutom U-krivom, odnosno da umereno vežbanje doprinosi unapređenju kognitivnog funkcionisanja, dok intenzivni trening umanjuje kognitivnu efikasnost neposredno nakon treninga (Kashihara, et al., 2009; Moore, Romine, O'Connor, & Tomporowski, 2012; Pennington & Hanna, 2013). Drugim rečima, za razliku od umerenog treninga, viščasovni iscrpljujući fizički trening neće nas učiniti kognitivno efikasnijima (Tomporowski, 2003). Kao neki od uzroka se navode iscrpljenost i dehidracija koji kompromituju kognitivnu obradu informacija, naročito u domenu perceptivne diskriminacije (Moore, et al., 2012). Iako mehanizam koji leži u osnovi veze između intenziteta fizičke aktivnosti i kognitivnog funkcionisanja nije u potpunosti razjašnjen, rezultati navedenih studija ukazuju na to da sa fizičkim naporima ne treba preterivati pre važnih kognitivnih zadataka (npr. polaganja ispita). U budućim istraživanjima bi bilo korisno da se ispita da li višegodišnje vežbanje profesionalnih i aktivnih sportista dugoročno povoljno utiče na njihovo kognitivno funkcionisanje s obzirom na to da su oni često izloženi izuzetno napornim treninzima. Takođe, bilo bi korisno uporediti dugoročne efekte vežbanja profesionalnih sportista i ljudi koji rekreativno vežbaju u pogledu kognitivnog funkcionisanja.

Iako fizičko vežbanje nesumnjivo doprinosi unapređenju kognitivnog funkcionisanja čoveka ne treba ga shvatati kao „vakcinu“ protiv neurodegenerativnih bolesti. Fizičko vežbanje svakako predstavlja jedan od važnih protektivnih faktora, ali samostalno ne može zameniti aktivnosti koje direktno razvijaju i unapređuju kognitivno funkcionisanje (Duay & Bryan, 2006; Henderson, 2014; Lauenroth, Ioannidis, & Teichmann, 2016). Stoga, u kombinaciji sa „mentalnim treninzima“, fizičku aktivnost treba shvatati kao pomoć u unapređenju kognitivnih funkcija i, svakako, kao jednu od osnova opšteg psihofizičkog zdravlja.

IZJAVA

Autorke su svojim izjavama potvrdile nepostojanje bilo kakvog sukoba interesa.

NAPOMENE

- 1 *The International Affective Picture System* je standardizovana baza fotografija koja se koristi za proučavanje emocija i pažnje, a koja je konstruisana na Nacionalnom institutu za mentalno zdravlje, Univerzitet Florida.
- 2 Visoko pobuđujući pozitivni afekat HAP obuhvata afektivna stanja poput uzbuđenja i entuzijazma, dok nisko pobuđujući pozitivni afekat obuhvata afektivna stanja poput smirenosti i opuštenosti (Hogan, et al., 2013)
- 3 Kognitivno starenje predstavlja funkcionalnu regresiju kognitivnih sposobnosti.

LITERATURA

- Abbott R.D., White L.R., Ross G.W., Masaki K.H., Curb J.D., & Petrovitch, H. (2004). Walking and Dementia in Physically Capable Elderly Men. *JAMA*, 292, 1447-1453.
- Ahlskog, J. E., Geda, Y. E., Graff-Radford, N. R., & Petersen, R. C. (2011). Physical Exercise as a Preventive or Disease-Modifying Treatment of Dementia and Brain Aging. *Mayo Clinic Proceedings*, 86, 876-884.
- Antunes, H. K. M., Santos, R. F., Cassilhas, R., Santos, R. V. T., Bueno, O. F. A., & Túlio de Mello, M. (2006). Reviewing on physical exercise and the cognitive function. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 12, 97-103.
- Archer T., Svensson K., & Alricsson M. (2012). Physical exercise ameliorates deficits induced by traumatic brain injury. *Acta Neurologica Scandinavica*, 125, 293-302.
- Betz, M. J. & Enerbäck, S. (2015). Human Brown Adipose Tissue: What We Have Learned So Far. *Diabetes*, 64, 2352-2360.
- Black, J. E., Isaacs, K. R., Anderson, B. J., Alcantara, A. A., & Greenough, W. T. (1990). Learning causes synaptogenesis whereas motor activity causes angiogenesis in cerebellar cortex of adult rats. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 87, 5568-5572.
- Boström, P., Wu, J., Jedrychowski, M. P., Korde, A., Ye, L., Lo, J. C., Rasbach, K.A., Boström, E.A, Choi J.H., Long J.Z., Kajimura, S., Zingaretti, M.C., Vind, B.F., Tu, H., Cinti, S., Højlund, K., Gygi, S.P., & Spiegelman, B. M. (2012). A PGC1- α -dependent myokine that drives brown-fat-like development of white fat and thermogenesis. *Nature*, 481, 463-468.
- Brown, B., Peiffer, J.J., & Martins, R., (2012). Multiple effects of physical activity on molecular and cognitive signs of brain aging: can

exercise slow neurodegeneration and delay Alzheimer's disease? *Molecular Psychiatry*, 18, 864-874.

- Cai, L., Chan, J. S. Y., Yan, J. H., & Peng, K. (2014). Brain plasticity and motor practice in cognitive aging. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6, 31.
- Christou, E.A., Poston, B., Enoka, J.A., & Enoka, R.M. (2007). Different neural adjustments improve endpoint accuracy with practice in young and old adults. *Journal of Neurophysiology*, 97, 3340-3350.
- Chodzko-Zajko, W., & Moore, K.A. (1994). Physical fitness and cognitive function in aging. *Exercise and Sport Science Reviews*, 22, 195-220.
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychological Science*, 14, 125-130.
- Colcombe S. J., Erickson K. I., Raz N., Webb, A. G., Cohen, N. J., McAuley, E., & Kramer A. F. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *The Journals of Gerontology Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*. 58, 176-180.
- Cotman C.W., Berchtold N. C., & Christie LA. (2007). Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends in Neurosciences*, 30, 464-472.
- Daffner, K. R. (2010). Promoting Successful Cognitive Aging: A Comprehensive Review. *Journal of Alzheimer's Disease : JAD*, 19, 1101-1122.
- Daly, M., McMinn, D., & Allan, J. L. (2014). A bidirectional relationship between physical activity and executive function in older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1044.
- Davidson R. J. (2004). What does the prefrontal cortex "do" in affect: perspectives on frontal EEG asymmetry research. *Biological Psychology*, 67, 219-234.
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E., ... Naglieri, J. A. (2011). Exercise Improves Executive Function and Achievement and Alters Brain Activation in Overweight Children: A Randomized Controlled Trial. *Health Psychology*, 30, 91-98.
- Duay, D. L., & Bryan, V. C. (2006). Senior adults' perceptions of successful aging. *Educational Gerontology*, 32, 423-445.
- Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Russell, E. M., Shearer, D. E., Bonekat, W., Shigeoka, J. W., Wood, J. S., & Bradford, D. C. (1984). Aerobic exercise training and improved neurophysiological function of older adults. *Neurobiology of Aging*, 5, 35-42.
- Elleberg, D., & St-Louis-Deschênes, M. (2010). The effect of acute physical exercise on cognitive function during development. *Psychology of Sport and Exercise*, 11(2), 122-126.
- Ericsson, K. A. (1996). The acquisition of expert performance: An introduction to some of the issues. In K. A. Ericsson (Ed.), *The road to excellence: The acquisition of expert performance in the arts and sciences, sports, and games* (pp. 1-50). Mahwah, NJ: Erlbaum

- Farmer, J., Zhao, X., van Praag, H., Wodtke, K., Gage, F. H., & Christie, B. R. (2004). Effects of voluntary exercise on synaptic plasticity and gene expression in the dentate gyrus of adult male sprague-dawley rats in vivo. *Neuroscience*, 124, 71-79.
- Fox, K. R. (2000). The effects of exercise on self-perceptions and self-esteem. In S. J. H. Biddle, K. R. Fox., & S. H. Boutcher (Eds.), *Physical activity and psychological wellbeing* (pp. 88-117). London: Routledge.
- Friedman N.P., Miyake A., Young S.E., DeFries J.C., Corley R.P., & Hewitt J.K. Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology*, 137, 201-225.
- Fordyce D. E., & Farrar R. P. (1991). Physical activity effects on hippocampal and parietal cholinergic function and spatial learning in F344 rats. *Behavioral Brain Research*, 43, 115-123.
- Gajewski, P. D., & Falkenstein, M. (2016). Physical activity and neurocognitive functioning in aging - a condensed updated review. *European Review of Aging and Physical Activity*, 13, 1.
- Galea, L. A. M., Spritzer, M. D., Barker, J. M. & Pawluski, J. L. (2006), Gonadal hormone modulation of hippocampal neurogenesis in the adult. *Hippocampus*, 16, 225-232.
- Gomez-Pinilla, F., & Hillman, C. H. (2013). The influence of exercise on cognitive abilities. *Comprehensive Physiology*, 3, 403-428.
- Hall, C.D., Smith, A.L., & Keele, S.W. (2001). The impact of aerobic activity on cognitive function in older adults: A new synthesis based on the concept of executive control. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, 279-300.
- Hall, E.E., Ekkekakis, P., & Petruzzello, J.S (2007). Regional brain activity and strenuous exercise: Predicting affective responses using EEG asymmetry. *Biological Psychology*, 75, 194-200.
- Handa, R. J., Ogawa, S., Wang, J. M., & Herbison, A. E. (2012). Roles for Oestrogen Receptor β in Adult Brain Function. *Journal of Neuroendocrinology*, 24, 160-173.
- Hayes, S. M., Hayes J. P., Cadden, M., & Verfaellie, M. (2013). A review of cardiorespiratory fitness-related neuroplasticity in the aging brain. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 5, 31.
- Hassmén, P., Koivula, N., & Uutela, A. (2000) Physical exercise and psychological well-being: A population study in Finland. *Preventive Medicine*, 30, 17-25.
- Henderson, V. W. (2014). Three Midlife Strategies to Prevent Cognitive Impairment Due to Alzheimer's Disease. *Climacteric: The Journal of the International Menopause Society*, 17, 38-46.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 58-65.
- Hogan, C. L, Mata, J., & Carstensen, L. L. (2013). Exercise holds immediate benefits for affect and cognition in younger and older adults. *Psychology and Aging*, 28, 587-594.
- Ito, M. (2004). 'Nurturing the brain' as an emerging research field involving child neurology. *Brain and Development*, 26, 429-433.
- Kalaria, R. N. (2010). Vascular basis for brain degeneration: faltering controls and risk factors for dementia. *Nutrition Reviews*, 68, 74-87.
- Kamijo, K., Hayashi, Y., Sakai, T., Yahiro, T., Tanaka, K., & Nishihira, Y. (2009). Acute Effects of Aerobic Exercise on Cognitive Function in Older Adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 64B, 356-363.
- Kashihara, K., Maruyama, T., Murota, M., & Nakahara, Y. (2009). Positive Effects of Acute and Moderate Physical Exercise on Cognitive Function. *Journal of Physiological Anthropology*, 28, 155-164.
- Kramer, A. F., & Erickson, K. I. (2007). Capitalizing on cortical plasticity: influence of physical activity on cognition and brain function. *Trends in cognitive sciences*, 11, 342-348.
- Lakes, K. D., & Hoyt, W. T. (2004). Promoting self-regulation through school-based martial arts training. *Applied Developmental Psychology*, 25, 283-302.
- Lautenschlager N. T., Cox, K., & Cyarto E. V. (2012). The influence of exercise on brain aging and dementia. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease*, 1822, 474-481.
- Lauenroth, A., Ioannidis, A. E., & Teichmann, B. (2016). Influence of combined physical and cognitive training on cognition: a systematic review. *BMC Geriatrics*, 16, 141.
- McMorris, T., Tallon, M., Williams, C., Sproule, J., Draper, S., Swain, J., et al. (2003). Incremental exercise, plasma concentrations of catecholamines, reaction time, and motor time during performance of a noncompatible choice response time task. *Perceptual and Motor Skills*, 97, 590-604.
- Moore, R. D., Romine, W. W., O'Connor, P. J., & Tomporowski, P. D. (2012). The effects of exercise-induced fatigue on cognitive function. *Journal of Sports Sciences*, 30, 841-850.
- Nagappan, G., & Lu, B. (2005). Activity-dependent modulation of the BDNF receptor TrkB: Mechanisms and implications. *Trends in Neurosciences*, 28, 464-471.
- Neeper, S.A., Gómez-Pinilla, F., Choi, J., & Cotman, C. (1995). Exercise and brain neurotrophins. *Nature*, 373, 109.
- Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S., Howard, R., J., & Ballard, C. G. (2010). Putting brain training to the test. *Nature*, 465, 775-778.
- Paluska, S. A., & Schwenk, T. L. (2000). Physical activity and mental health: Current concepts. *Sports Medicine*, 29, 167-180.
- Park, H. L., O'Connell, J. E., & Thomson, R. G. (2003), A systematic review of cognitive decline in the general elderly population. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 18, 1121-1134.
- Pennington, R., & Hanna, S. (2013). Acute Effects of Exercise on Cognitive Performances of Older Adults, *Journal of the Arkansas Academy of Science*, 67, 109-114.

- Pesce, C., Crova, C., Cereatti, L., Casella, R., & Bellucci, M. (2009). Physical activity and mental performance in preadolescents: effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity, 2*, 16-22.
- Ponti, G., Peretto, P., & Bonfanti, L. (2008). Genesis of neuronal and Glial progenitors in the cerebellar cortex of peripuberal and adult rabbits. *PLoS ONE, 3*, e2366.
- Sala-Llonch, R., Arenaza-Urquijo, E. M., Valls-Pedret, C., Vidal-Piñeiro, D., Bargalló, N., Junqué, C., & Bartrés-Faz, D. (2012). Dynamic Functional Reorganizations and Relationship with Working Memory Performance in Healthy Aging. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*, 152.
- Samorajski T., Delaney C., Durham L., Ordy J. M., Johnson J. A., & Dunlap W.P. (1985). Effect of exercise on longevity, body weight, locomotor performance and passive-avoidance memory of C57BL/6J mice. *Neurobiology of Aging, 6*, 17-24.
- Shay, K., & Roth, D. (1992). Association between aerobic fitness and visuospatial performance in healthy older adults. *Psychology and Aging, 1*, 15-24.
- Scully, D., Kremer, J., Meade, M. M., Graham, R., & Dudgeon, K. (1998). Physical exercise and psychological well being: a critical review. *British Journal of Sports Medicine, 32*, 111-120.
- Stuer, S. (2009). *The Effects of Physical Exercise on Cognition*. Trinity College Digital Repository, Hartford, CT. Preuzeto sa <http://digitalrepository.trincoll.edu/fypapers/1>.
- Thorell, L. B., Lindqvist, S., Bergman Nutley, S., Bohlin, G., & Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science, 12*, 106-113.
- Tomporowski, D. P., McCullick, B., Pendleton, M. D., & Pesce, C. (2015). Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition. *Journal of Sport and Health Science, 4*, 47-55.
- Tolppanen, A., Solomon, A., Kulmala, J., Kåreholt, I., Ngandu, T., Rusanen, M., Laatikainen, T., Soininen, H., & Kivipelto, M. (2015). Leisure-time physical activity from mid- to late life, body mass index, and risk of dementia. *Alzheimer's & Dementia, 11*, 434-443.
- Trejo J. L., Llorens-Martín M. V., & Torres-Alema'n I. (2008). The effects of exercise on spatial learning and anxiety-like behavior are mediated by an IGF-I-dependent mechanism related to hippocampal neurogenesis. *Molecular and Cellular Neuroscience, 37*, 402-411.
- Tsatsoulis, A., & Fountoulakis, S. (2006). The Protective Role of Exercise on Stress System Dysregulation and Comorbidities. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1083*, 196-213.
- Van Praag, H., Kempermann, G., & Gage, F. H. (1999). Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus. *Nature Neuroscience, 2*, 266-270.
- Voelcker-Rehage, C., Godde, B., & Staudinger, U. M. (2011). Cardiovascular and coordination training differentially improve cognitive performance and neural processing in older adults. *Frontiers in Human Neuroscience, 5*, 1-12.
- Voelcker-Rehage, C., & Niemann, C. (2013). Structural and functional brain changes related to different types of physical activity across the life span. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 37*, 2268-2295.
- Wu, J., Boström, P., Sparks, L. M., Ye, L., Choi, J. H., Giang, A. H., Khandekar, M., Virtanen, K. A., Nuutila, P., Schaart, G., et al. (2012). Beige adipocytes are a distinct type of thermogenic fat cell in mouse and human. *Cell, 150*, 366-376.
- Zhao, E., Tranovich, M. J., & Wright, V. J. (2014). The Role of Mobility as a Protective Factor of Cognitive Functioning in Aging Adults: A Review. *Sports Health, 6*, 63-69.
- Zhu, N., Jacobs, D., Schreiner, P., Yaffe, K., Bryan, N., Launer, L., Whitmer, R., Sidney, S., Demerath, E., Thomas, W., Bouchard, C., He, K., Reis, J., & Sternfeld, B. (2014). Cardiorespiratory fitness and cognitive function in middle age: The CARDIA Study. *Neurology, 82*, 1339-1346.

Datum prijave: 14.05.2017.

Datum prihvatanja: 28.06.2017.

Kontakt

Stanislava Popov, Fakultet za sport i turizam, Novi Sad
Radnička 30a

E-mail: stanislava.popov@tims.edu.rs

Ivana Jakovljević, Filozofski fakultet, Novi Sad
Laboratorija za eksperimentalnu psihologiju,
Dr Zorana Đinđića 2

E-mail: jakovljevi.ivana@yahoo.com