

# Povezanost tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija

---

**Kopčalić, Maja**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Filozofski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:142:380836>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-22**



**FILOZOFSKI FAKULTET**  
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

*Repository / Repozitorij:*

[FFOS-repository - Repository of the Faculty of Humanities and Social Sciences Osijek](#)



Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku

Filozofski fakultet Osijek

Odsjek za psihologiju

Maja Kopčalić

**Povezanost tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija**

Završni rad

izv. prof. dr. sc. Silvija Ručević / Sandra Vučković

Osijek, 2020.

Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku

Filozofski fakultet Osijek

Odsjek za psihologiju

Psihologija

Maja Kopčalić

**Povezanost tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija**

Završni rad

Područje društvenih znanosti, polje Psihologija, grana Opća psihologija

izv. prof. dr. sc. Silvija Ručević / Sandra Vučković

Osijek, 2020.

**Prilog: Izjava o akademskoj čestitosti i o suglasnosti za javno objavljivanje**

Obveza je studenta da donju Izjavu vlastoručno potpiše i umetne kao treću stranicu završnog odnosno diplomskog rada.

**IZJAVA**

Izjavljujem s punom materijalnom i moralnom odgovornošću da sam ovaj rad samostalno napravio te da u njemu nema kopiranih ili prepisanih dijelova teksta tuđih radova, a da nisu označeni kao citati s napisanim izvorom odakle su preneseni.

Svojim vlastoručnim potpisom potvrđujem da sam suglasan da Filozofski fakultet Osijek trajno pohrani i javno objavi ovaj moj rad u internetskoj bazi završnih i diplomskih radova knjižnice Filozofskog fakulteta Osijek, knjižnice Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu.

U Osijeku, datum 14.07.2020.

Maja Kopačić, 0122227192  
ime i prezime studenta, JMBAG

## Sažetak

Pojavom moderne tehnologije omogućeno je precizno ispitivanje povezanosti tjelesne aktivnosti i kognitivnih sposobnosti, a specifično i izvršnih funkcija. Istraživanja ove povezanosti sugeriraju kako su tjelesna aktivnost i izvršne funkcije pozitivno povezane. Ti rezultati su potvrđeni uz variranje utjecaja dobi sudionika, vrste i intenziteta tjelesne aktivnosti te kondicije sudionika. Naime, tjelesna aktivnost i izvršne funkcije pozitivno su povezane u svakoj fazi života, no najveće promjene u izvršnim funkcijama uslijed povećanja tjelesne aktivnosti pronađene su kod djece te starije dobne skupine. S obzirom na vrstu tjelesne aktivnosti, aerobne vježbe, zbog svoje tjelesne kognitivne zahtjevnosti, imaju najveći učinak na izvršne funkcije. Također, postoje dokazi kako vježbe umjerenog intenziteta više pogoduju izvršnim funkcijama nego vježbe niskog ili visokog intenziteta. Kao potvrda ovim saznanjima, dokazano je i kako su osobe koje redovito vježbaju, odnosno one koje su u dobroj kondiciji, uspješnije u zadacima koji mjere izvršne funkcije nego one koje rijetko obavljaju tjelesne aktivnosti. Iako većina istraživanja potvrđuje ove rezultate, postoje i primjeri istraživanja u kojima nije pronađena nikakva povezanost, što je i razumljivo s obzirom na velik broj faktora koje treba uzeti u obzir u istraživanjima ovako složenih konstrukata. U svrhu dubljeg razumijevanja povezanosti tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija, buduća istraživanja bi se trebala fokusirati na ispitivanje mehanizama koji su u podlozi te povezanosti.

**Ključne riječi:** tjelesna aktivnost, izvršne funkcije, dob, aerobne vježbe

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Tjelesna aktivnost.....	1
3. Izvršne funkcije.....	2
3.1. Definiranje izvršnih funkcija.....	2
3.2. Mjerenje izvršnih funkcija.....	4
3.2.1. Radno pamćenje.....	5
3.2.2. Inhibicija.....	6
3.2.3. Mentalna fleksibilnost.....	6
3.2.4. Planiranje.....	7
4. Povezanost tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija.....	7
4.1. Utjecaj dobi.....	7
4.1.1. Dječja dob.....	9
4.1.2. Adolescencija.....	10
4.1.3. Mlađa i srednja odrasla dob.....	10
4.1.4. Starija odrasla dob.....	11
4.2. Utjecaj vrste tjelesne aktivnosti.....	11
4.2.1. Aerobne vježbe.....	12
4.3. Utjecaj intenziteta tjelesne aktivnosti.....	13
4.4. Utjecaj tjelesne kondicije osobe.....	14
5. Nedostaci istraživanja.....	15
6. Zaključak.....	16
7. Literatura.....	18

## 1. Uvod

Još od antičke Grčke, začetaka filozofije i ideje o dualizmu, postavlja se pitanje o povezanosti tijela i duha, odnosno tjelesnosti i kognicije. Prvi je dualizam spomenuo Platon koji je rekao kako je čovjek duh, a tijelo se javlja kao protivnik duha. No, već je Aristotel uvidio važnost tjelesnoga i smatrao kako je čovjek tijelo, odnosno materija oformljena dušom (Brajčić, 1976). U novije vrijeme, dosjetljivošću istraživača te pojavom modernih tehnologija omogućeno je empirijsko istraživanje ove povezanosti. Dosadašnja istraživanja potvrđuju povezanost motoričkih i kognitivnih sposobnosti (npr. Adolph i Berger, 2006; prema Đonlić i sur., 2015), a povezanost motoričkih i kognitivnih centara u mozgu potkrepljuju i neurološke analize (Diamond, 2000). Ove spoznaje su navele istraživače na daljnje proučavanje načina na koji se tjelesnom aktivnošću može utjecati na kogniciju, i obrnuto. Često istraživana povezanost je ona između tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija. Tjelesna aktivnost obuhvaća svaku vrstu pokreta tjelesnih mišića, bilo da je riječ o obavljanju svakodnevnih zadataka ili da se radi o namjernoj aktivnosti u svrhu poboljšanja tjelesne kondicije, odnosno tjelovježbi (Best, 2010). Izvršne funkcije su složene kognitivne funkcije koje uključuju vještine potrebne za svrhovitu, prema cilju usmjerenu aktivnost te se povezuju s aktivnošću prefrontalnog korteksa (Davis i sur., 2011). Istraživanja koja proučavaju povezanost ova dva konstrukta se metodološki vrlo razlikuju. Često se te različitosti očituju u različito definiranoj tjelesnoj aktivnosti (npr. trajanju ili vrsti te aktivnosti) te u različitom definiranju izvršnih funkcija (npr. mjeri li se jedna komponenta tog konstrukta ili više njih). No, unatoč različitostima u metodologiji i potrebnom oprezu prilikom generaliziranja rezultata i donošenja zaključaka, većina istraživanja potvrđuje pozitivne efekte tjelesne aktivnosti na izvršne funkcije (Tomporowski i sur., 2008). S obzirom na kompleksnost konstrukata koji se dovode u vezu, razumljivo je kako još uvijek postoje određene nejasnoće u povezanosti tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija osobe. U ovom radu će stoga biti prikazani različiti načini ispitivanja ove povezanosti. Poblize će se objasniti pojmovi tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija, a potom će biti opisana njihova povezanost putem varijabli koje se najčešće ispituju u istraživanjima, a to su dob sudionika, vrsta i intenzitet tjelesne aktivnosti te tjelesna kondicija sudionika.

## 2. Tjelesna aktivnost

Sjedilački način života je sve češća pojava modernog doba. Iako su prepoznate brojne negativne posljedice takvog stila življenja, ljudi se rijetko okreću najadekvatnijem rješenju, a to je tjelesna aktivnost. Tome u prilog govori i podatak da su u Hrvatskoj kardiovaskularne bolesti jedan od vodećih uzroka smrtnosti te je među zemljama Europe po problemu pretilosti na petom mjestu, što je izravno vezano uz manjak tjelesne aktivnosti (Đonlić i sur., 2015). Prema Svjetskoj

zdravstvenoj organizaciji, vježbati bi trebalo svakodnevno. Mlađim osobama se preporuča vježbati barem 60 minuta dnevno, a odraslima 30 minuta (WHO, 2014; prema Đonlić i sur., 2015). S obzirom na važnost koju zdravlje ima u životu čovjeka, velik broj znanstvenih pitanja je usmjeren upravo na istraživanja zaštite i unapređenja zdravlja. Analizom ovih istraživanja moguće je doći do zaključka kako tjelesna aktivnost uvelike doprinosi općem zdravlju pojedinca. Redovito izvođenje tjelesnih aktivnosti određenim intenzitetom i obujmom može pozitivno djelovati na čovjeka u svim fazama života. Naime, pokazalo se kako kod djece i mladih tjelesna aktivnost potpomaže pravilnijem rastu i razvoju, a kod starijih pomaže u prevenciji raznih bolesti, zadržavanju funkcionalne sposobnosti i psihofizičke samostalnosti (Bungić i Barić, 2009).

Bavljenje tjelesnim aktivnostima najčešće rezultira razvojem motoričkih sposobnosti, lakšim obavljanjem radnih zadataka ili boljim tjelesnim izgledom, a postoje i mnogi drugi pozitivni učinci redovite tjelesne aktivnosti. Tako se uključivanje u tjelesne aktivnosti povezuje s razvojem pozitivnih moralnih osobina poput odlučnosti, upornosti, discipliniranosti, inicijativnosti, skromnosti, poštenja, kulturnog ponašanja, pravilnog odnosa prema društvenoj sredini i drugo. Tjelesna aktivnost se pokazala i dobrim mehanizmom za suočavanje sa stresom. Naime, dokazano je kako tjelesna aktivnost može utjecati na smanjenje negativnih učinaka stresa (Berger, 1994). Podloga ove povezanosti bi se mogla nalaziti u kratkotrajnim promjenama raspoloženja koje su izazvane bavljanjem tjelesnom aktivnošću i to putem osjećaja uživanja i zadovoljstva u aktivnostima koje se obavljaju. Također, pokazalo se kako tjelesna aktivnost pozitivno utječe i na samopouzdanje (Bungić i Barić, 2009).

Moderna tehnologija, poput magnetske rezonance ili encefalografije koje omogućavaju precizno bilježenje aktivnosti mozga, uvelike je doprinijela proučavanju povezanosti kognitivnih i tjelesnih aspekata, te se sada zna kako su tjelesni, intelektualni i emocionalni razvoj neraskidivo povezani (Đonlić i sur., 2015). Istraživanja su utvrdila kako tjelesna aktivnost (koja obuhvaća svaku vrstu pokreta tjelesnih mišića), jednako kao i tjelovježba (koja predstavlja namjerno uključivanje u tjelesnu aktivnost radi poboljšanja kondicije), imaju važnu ulogu u kognitivnom razvoju osobe (Best, 2010).

### 3. Izvršne funkcije

#### 3.1. Definiranje izvršnih funkcija

Različiti autori nude različite definicije izvršnih funkcija. Ipak, konsenzus je postignut oko toga da one obuhvaćaju vještine koje su potrebne za svrhovite aktivnosti, usmjerene prema određenom cilju (Stuss i Benson, 1986; Spreen i sur., 1985; prema Šimleša i Cepanec, 2008). U



starijim definicijama izvršnih funkcija autori su naglašavali postojanje homogenosti konstrukta, odnosno opisivali su kako je riječ o jednoj, centralnoj izvršnoj funkciji, a zanemarivali su pojedinačne, a time i različite procese koje taj termin obuhvaća. U novijim definicijama izvršne funkcije opisuju se kao “krovni termin” kojim su obuhvaćeni jednostavniji međusobno povezani procesi potrebni za svrhovito, prema cilju usmjereno ponašanje (Anderson, 2002; Hughes i Graham, 2002; prema Šimleša i Capanec, 2008). Do spoznaja o složenosti konstrukta izvršnih funkcija došlo je uslijed mnogobrojnih istraživanja. Jedno od značajnijih je ono koje su proveli Miyake i suradnici (2000). Cilj njihova istraživanja je bio otkriti jesu li izvršne funkcije jedinstven konstrukt, ili je pak riječ o više odvojenih procesa. Proučavali su korelacije među zadacima kojima se mjeri inhibicija, mentalna fleksibilnost i radno pamćenje te su pokazali kako se te korelacije kreću između  $r = .42$  i  $r = .63$ . Te umjereno visoke korelacije sugeriraju kako je ipak riječ o različitim konstruktima, ali i da djelomično imaju zajedničku osnovu. U potrazi za osnovom koja bi povezala te konstrukte, različiti autori su ponudili različita objašnjenja. Neki smatraju kako podlogu pronađenih korelacija predstavlja sama inhibicijska kontrola (Carlson i sur., 1998; prema Šimleša i Capanec, 2008), drugi smatraju kako je to radno pamćenje (Baddeley, 1996), dok neki sugeriraju da su u podlozi ujedno i inhibicijska kontrola i radno pamćenje (Diamond, 1991; prema Šimleša i Capanec, 2008).

Jedna od učestalo korištenih definicija izvršnih funkcija je ona koja opisuje izvršne funkcije kao kognitivne sposobnosti višeg reda koje kontroliraju osnovne kognitivne funkcije u svrhu namjernog ponašanja usmjerenog na ciljeve, a koje su povezane s aktivnošću prednjeg režnja mozga (Etnier i Chang, 2009). Također, često se definiraju kao "viša razina" ili "meta-kognitivna" funkcija koja upravlja drugim nižim kognitivnim funkcijama (Alvarez i Emory, 2006; Salthouse, 2007; prema Etnier i Chang, 2009) i regulira emocije i pažnju (Blair i Diamond, 2008; Lewis i sur., 2008; prema Etnier i Chang, 2009), neophodne za svrhovito i cilju usmjereno ponašanje. Nadalje, neke od definicija se fokusiraju na situacije u kojima se koriste izvršne funkcije. Novost situacije se pokazala bitnom komponentom. Na primjer, Shallice (1990) je istaknula da izvršne funkcije nisu toliko bitne za izvršavanje rutinskih, dobro naučenih ponašanja, već se češće aktiviraju u novim ili nepoznatim okolnostima. Također, Rabbitt (2004) je izvršne funkcije opisao kao one koje se aktiviraju u novim situacijama, planiranjem strategija i djelovanjem prema njima te koje koriste povratne informacije za promjenu sadašnjih ponašanja. Drugi su istraživači koristili psihometrijske metode kako bi pokušali identificirati temeljne čimbenike izvršnih funkcija. Općeniti zaključak tih istraživanja je da su procesi poput planiranja, radnog pamćenja, sposobnosti inhibiranja ili

odgađanja odgovora i kognitivne fleksibilnosti najčešće spominjani u kontekstu izvršnih funkcija (Etnier i Chang, 2009).

Biološka osnova izvršnih funkcija je pronađena u istraživanjima prefrontalnog korteksa. Naime, većina istraživanja ukazuje na povezanost izvršnih funkcija i prefrontalne moždane kore (Goldman-Rakic, 1995; Stuss i Alexander, 2000; prema Šimleša i Capanec, 2008), za koju se smatra da je ključna za neke od najsloženijih sposobnosti, onih koje ljudski rod diferenciraju od životinjskog svijeta. Neki istraživači (npr. Duke i Kaszniak, 2000; Keil i Kaszniak, 2002; prema Etnier i Chang, 2009) ispitivali su pacijente s oštećenjem prednjeg režnja mozga kako bi identificirali koje kognitivne zadatke nisu u mogućnosti adekvatno riješiti. Zaključili su kako su pacijenti imali najvećih poteškoća u zadacima kojima se ispituju izvršne funkcije. Drugi su koristili tehnike oslikavanja mozga kako bi pokušali utvrditi vezu između aktivnosti frontalnog režnja i izvođenja specifičnih kognitivnih funkcija (Gilbert i Burgess, 2008; Zakzanis i sur., 2005; prema Etnier i Chang, 2009). Njihovi rezultati su pokazali kako se upravo frontalni korteks aktivira tijekom izvođenja zadataka kojima se mjere izvršne funkcije, čime su dodatno potvrdili ovu vezu.

Istraživanja izvršnih funkcija u različitim dobnim skupinama pokazala su kako one nisu potpuno stabilna karakteristika tijekom razvoja pojedinca. S obzirom na prethodno spomenutu povezanost izvršnih funkcija i prefrontalnog korteksa koji je dio mozga koji posljednji razvija svoj puni potencijal, razumljivo je da su u djetinjstvu izvršne funkcije slabije razvijene. Do poboljšanja dolazi u adolescenciji kada i počinje sazrijevanje prefrontalnog korteksa (Zelazo i Miller, 2002; prema Ludyga i sur., 2016), nakon čega slijedi pad od rane do kasne odrasle dobi (Mayr i sur., 2001; prema Ludyga i sur., 2016). Ovaj specifični razvoj funkcioniranja izvršnih funkcija kroz životni vijek nalikuje krivulji u obliku obrnutog slova U (Bedard i sur., 2002; Zelazo i sur., 2004; prema Ludyga i sur., 2016), što ukazuje na nižu uspješnost u zadacima izvršnih funkcija kod djece i starijih odraslih u odnosu na mlade.

U literaturi koja se bavi proučavanjem tjelesne aktivnosti i utjecaja koji ona ima na kogniciju do sada je težište bilo na aspektima izvršnih funkcija koje se odnose na kognitivnu kontrolu. Kramer i suradnici (1994) prvi su opisali izvršne funkcije u literaturi o tjelesnoj aktivnosti kao konstrukt koji se sastoji od ponašanja poput planiranja, koordinacije zadataka, započinjanja i zaustavljanja ponašanja i obrade semantičkih informacija.

### 3.2. Mjerenje izvršnih funkcija

Zadaci koji se koriste za mjerenje izvršnih funkcija obično su identificirani na temelju preklapanja između izvršnih funkcija i funkcija frontalnog režnja (Bryan i Luszcz, 2000; Keil i

Kaszniak, 2002; prema Etnier i Chang, 2009). S obzirom na to da su izvršne funkcije krovni pojam koji se koristi za opisivanje viših kognitivnih funkcija koje reguliraju osnovne kognitivne procese, njihovo mjerenje je izazovno. Gilbert i Burgess (2008; prema Etnier i Chang, 2009) ističu da, iako je uspješnost na raznim mjerama izvršnih funkcija obično pozitivno povezana, jačina te veze općenito je mala te se može zaključiti kako izvršne funkcije ne predstavljaju jedinstveni konstrukt. Zbog toga se predlaže da se u svrhu mjerenja izvršnih funkcija primjenjuju višestruke procjene koje bi zajedno mogle obuhvatiti cjelokupni konstrukt, a ne samo njegov dio te tako osigurati dobru mjeru. Sukladno tome, Miyake i suradnici (2000) su sugerirali da je nemoguće pronaći „čistu“ mjeru izvršne funkcije, nego da treba koristiti više neuropsiholoških mjera kako bi se smanjila „nečistoća zadataka“ i obuhvatio ovaj složeni konstrukt. Druga mogućnost je mjeriti pojedine komponente izvršnih funkcija te prilikom zaključivanja ne generalizirati rezultate na cjelokupni pojam izvršnih funkcija, već ostati fokusiran na izabranoj komponenti (Etnier i Chang, 2009). Mnogi istraživači su u svojim istraživanjima primjenjivali upravo ovaj drugi pristup (npr. Miyake i sur., 2000; Salthouse, 2007; prema Etnier i Chang, 2009). U sljedećim poglavljima će biti prikazani načini mjerenja nekih od komponenata izvršnih funkcija.

### 3.2.1. Radno pamćenje

Još od 19. stoljeća postoji zanimanje za istraživanje pamćenja i njegovog kapaciteta. Baddeley (1996) je bio jedan od pionira u proučavanju radnog pamćenja. On se detaljnije bavio kratkoročnim pamćenjem te ga je podijelio na tri komponente, a to su središnji izvršitelj (centralni procesor) te podređeni sustavi fonološka (artikulativna) petlja i vizuospacijalni ekran. Unutar tog modela kratkoročnog pamćenja, radno pamćenje se može definirati kao kognitivna sposobnost koja uključuje procese potrebne za aktivnu simultanu obradu informacija koje dolaze iz podređenih sustava u centralni procesor. Raspon radnog pamćenja, odnosno količina elemenata koji se mogu obrađivati u isto vrijeme je ono što se u istraživanjima najčešće mjeri (Šimleša, 2011).

U zadacima kojima se mjeri radno pamćenje zahtijeva se zapamćivanje elemenata (npr. brojeva, riječi ili slikovnih prikaza), dok se u isto vrijeme traži od sudionika da obavlja i nekakav dodatni zadatak koje će ga kognitivno angažirati, a time i ometati u zapamćivanju. Najčešće je mjereno verbalno radno pamćenje, odnosno pamćenje riječi. Podražaji prilikom ispitivanja verbalnog radnog pamćenja mogu biti prezentirani pisano ili auditivno. Zadatak sudionika može biti a) procijeniti točnost pročitane rečenice i zapamtiti posljednju riječ, b) nadopuniti rečenice kojima nedostaje posljednja riječ te upamtiti te riječi, c) zapamtiti nepovezanu riječ koja je sudionicima nakon čitanja rečenice prezentirana. Osim ovakvih zadataka kojima je cilj ispitivanje

raspona verbalnog radnog pamćenja, postoje i mjere raspona neverbalnog radnog pamćenja gdje se najčešće koriste slikovni prikazi te se ispituje prostorna orijentacija (Rončević Zubković, 2010).

### 3.2.2. Inhibicija

Inhibicija predstavlja sposobnost potiskivanja dominantnog odgovora kada on nije primjeren za ostvarivanje cilja te aktiviranje alternativnog, u tom trenutku adekvatnog odgovora (Calhoun, 2006). Najčešće primjenjivani zadaci kojima se ispituju sposobnosti inhibicije su zadaci sa zadržkom i konfliktni zadaci. Zadaci sa zadržkom su konstruirani tako da se od sudionika zahtijeva da sami inhibiraju svoj odgovor, dok konfliktni zadaci, uz to što zahtijevaju inhibiciju neprikladnog odgovora, traže i aktivaciju novih, konfliktnih odgovora. Jedan od najpoznatijih primjera ovih zadataka je Stroopov test (Scarpina i Tagini, 2017, Šimleša, 2011).

Stroopov test, još nazvan i test imenovanja boja, često se koristi za mjerenje sposobnosti inhibicije. Sastoji se od tri dijela, a u svakom dijelu sudionici moraju imenovati boju podražaja. U prvom dijelu je neki neutralan simbol ispisan ili obojen tintom neke boje, npr. simbol XXX ispisan je crvenom bojom. Ovaj dio zadatka služi za uvježbanje sudionika. U drugom dijelu su napisani nazivi boja obojani tintom iste boje, npr. riječ CRVENO napisano crvenom bojom, što predstavlja kongruentan podražaj. U trećem dijelu zadatka podražaj je naziv boje ispisan u nekoj drugoj boji, poput PLAVO ispisan crvenom tintom, te ono predstavlja nekongruentan podražaj. U sva tri primjera, točan odgovor bi bio „crveno“. Sudionici rješavaju određen broj ovakvih zadataka te se mjeri vrijeme potrebno za izvršenje svakog od dijelova zadatka (Etnier i Chang, 2009). Rezultat se potom formira kao broj točnih odgovora u trećem, nekongruentnom dijelu zadatka i kao razlika kongruentnih i nekongruentnih odgovora (Troyer i sur., 2006). Iako se dobiveni rezultat smatra dobrom mjerom sposobnosti inhibicije, zamjerka nekih istraživača je to da osim inhibicije ovaj test mjeri i selektivnu pažnju te mentalnu fleksibilnost (Miyake i sur., 2000b; Pachana i sur., 2004; prema Etnier i Chang, 2009).

### 3.2.3. Mentalna fleksibilnost

Mentalna fleksibilnost se može definirati kao sposobnost promjene kognitivne radnje kako bi ona bila u skladu sa zahtjevima situacije (Šimleša, 2011). Najčešće korišten zadatak za mjerenje mentalne fleksibilnosti je Wisconsin test razvrstavanja karata (Dehaene i Changeux, 1991). Ovaj test, za kojeg se navodi da ga koristi preko 75% neuropsihologa u kliničkom okruženju, najčešće je korišten test izvršnih funkcija (Greve i sur., 2005; Rabin i sur., 2005; prema Etnier i Chang, 2009). U testu se od sudionika traži da razvrstaju karte na temelju jedne od triju karakteristika karata (boje, oblika i broja) i pomoću povratnih informacija ispitivača prepoznaju po kojoj karakteristici ih trebaju sortirati. Ispitivači nakon svakih 10 karata mijenjaju načelo, odnosno

karakteristiku po kojoj treba sortirati karte. Izvođenje ovog zadatka zahtijeva od sudionika da identificira karakteristiku karata koja se koristi za razvrstavanje, da održava takav način sortiranja sve dok se povratne informacije ispitivača ne promijene, da izbjegne sklonost korištenja pogrešnih načina sortiranja te da inhibira prethodni odgovor kad on više nije prikladan (Salthouse i sur., 2003; prema Etnier i Chang, 2009). Učinak u Wisconsin testu razvrstavanja karata, osim za procjenu mentalne fleksibilnosti, povezuje se i s mjerenjem inhibicije, ažuriranja i selektivne pažnje (Alvarez i Emory, 2006; Greve i sur., 2005; prema Etnier i Chang, 2009).

#### 3.2.4. Planiranje

Planiranje se odnosi na sposobnost osobe da izabere najdjelotvornije postupke koji će ju dovesti do cilja (Lezak i sur., 2004). Zadaci koji se koriste kao mjera sposobnosti planiranja su Londonski i Hanojski toranj (Krikorian i sur., 1994). Zahtjevi postavljeni pred sudionike su da, dobro planirajući, odrade neki zadatak i to tako da naprave što manji broj pokreta te slijede određena pravila (Šimleša, 2011). U jednom od primjera zadatka Londonskog tornja korištena je drvena daska s tri šipke. Prva šipka je bila dovoljno visoka da na nju stanu tri kuglice, na drugu stanu dvije kuglice, a na treću samo jedna. Sve kuglice su različite, a zadatak sudionika je staviti ih na određeno mjesto sa što manje pokreta. Neka od pravila su da se na šipku smije stavljati samo onoliko kuglica koliko na nju i stane te da se jednim potezom može pomaknuti samo jedna kuglica. Neki istraživači smatraju kako ni ovaj zadatak ne mjeri isključivo planiranje, nego obuhvaća i sposobnosti poput inhibicije i radnog pamćenja (Chang i sur., 2011).

Za svaki navedeni zadatak postoji i njegova računalna forma te je javno dostupna putem programa PsyToolkit (<https://www.psychtoolkit.org>) i PEBL (<http://pebl.sourceforge.net>).

### 4. Povezanost tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija

Nakon definiranja konstrukata tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija, moguće je pristupiti proučavanju njihove povezanosti. Kako bi preciznije objasnili ovu vezu, istraživači su uzimali u obzir i utjecaj vanjskih varijabli, među kojima se ističu dob i kondicija sudionika te vrsta i intenzitet tjelesne aktivnosti.

#### 4.1. Utjecaj dobi

Neuronski krugovi unutar prefrontalnog korteksa su se u brojnim istraživanjima pokazali kritičnima za razvoj izvršnih funkcija (Shimamura, 2000; Stuss i Benson, 1984; prema Best, 2010). S obzirom da su istraživanja prefrontalnog korteksa i izvršnih funkcija korelacijska, ne može se zaključivati o uzročno-posljedičnoj vezi, već se govori o koincidencijama u razvoju (Šimleša i Ceganec, 2008). Za razliku od drugih regija mozga odgovornih za motoričku ili senzornu obradu,

razvoj govora i jezika ili pažnju, koji sazrijevaju ranije u djetinjstvu, prefrontalni korteks sazrijeva u kasnoj adolescenciji (Gogtay i sur., 2004; O'Hare i Sowell, 2008; prema Best, 2010). No, i tijekom dječje dobi događaju se mnoge promjene u izvršnim funkcijama, neke progresivne, a neke regresivne (npr. mijelinizacija i sinaptičko obrezivanje), koje su djelomično pod utjecajem djetetovih iskustava (O'Hare i Sowell, 2008; prema Best, 2010). Kronološki gledano, prve dvije godine života karakteriziraju poboljšanja sposobnosti samoregulacije, radnog pamćenja i inhibicije odgovora. U dobi od 3 do 5 godina poboljšanja su vidljiva u sposobnostima poput jednostavnog planiranja, inhibicije dominantnog odgovora te mijenjanja kognitivnog seta, odnosno mentalne fleksibilnosti. U srednjem djetinjstvu i adolescenciji događa se razvoj sposobnosti poput planiranja, kognitivne fleksibilnosti te brzine davanja odgovora. Za mlade odrasle se smatra kako su na vrhuncu sposobnosti izvršnih funkcija, a kasnije tijekom života ove sposobnosti opadaju (Šimleša i Cepanec, 2008). U skladu s time, istraživanje koje su proveli de Greeff i suradnici (2018) govori kako tjelesna aktivnost, pogotovo kada se njome bavi redovito, ima pozitivne učinke na izvršne funkcije, pažnju i akademski uspjeh djece u razdoblju prije adolescencije, dok Daly i suradnici (2015) zaključuju kako su tjelesna aktivnost i sposobnosti izvršnih funkcija povezane i u starijoj dobi. Naime, oni govore o dvosmjernoj vezi u kojoj razina tjelesne aktivnosti utječe na opadanje u izvršnim funkcijama (npr. često bavljenje tjelesnom aktivnosti će smanjiti i usporiti opadanje u izvršnim funkcijama), ali i prethodne sposobnosti u izvršnim funkcijama utječu na kasnije uključivanje u tjelesne aktivnosti (npr. osobe sniženih sposobnosti izvršnih funkcija će rjeđe obavljati tjelesne aktivnosti).

Uzimajući u obzir činjenicu da se razine kognitivnih sposobnosti mijenjaju tijekom života, pretpostavlja se kako će i tjelovježba različito utjecati na različite dobne skupine. Tome u prilog govori i teorija o efektu stropa kojom se pretpostavlja kako sudionici s niskim učinkom u zadacima koji mjere izvršne funkcije mogu očekivati najveće koristi od jednog tjelesnog vježbanja, dok oni koji su ranije ostvarivali visoke rezultate u zadacima izvršnih funkcija mogu očekivati manje promjene (Drollette i sur., 2014; Sibley i Beilock, 2007; prema Ludyga i sur., 2016). Brojna istraživanja su pokazala kako su poboljšanja u izvršnim funkcijama nakon jednog tjelesnog vježbanja dosljedno pronađena kod djece (Hillman i sur., 2011; Verburgh i sur., 2014; prema Ludyga i sur., 2016) i starijih odraslih (Alves i sur., 2012; Hyodo i sur., 2012; prema Ludyga i sur., 2016), dok do značajnih promjena nije došlo u istraživanjima s mladim odraslim osobama (Li i sur., 2014; Wang i sur., 2015; prema Ludyga i sur., 2016).

#### 4.1.1. Dječja dob

U pionirskim istraživanjima izvršnih funkcija ciljna skupina su bile odrasle osobe s obzirom da se smatralo kako frontalni režanj nije aktivan do adolescencije pa zadaci kojima bi se ispitivale izvršne funkcije djece nisu bili niti razvijeni. U novije vrijeme, saznanja o tome kako frontalni režanj djece nije u potpunosti neaktivan, dovode do povećanja broja razvojnih istraživanja izvršnih funkcija upravo te skupine. Istraživanja su uglavnom provedena u uzorku djece urednog razvoja, ali i u skupinama koje pokazuju neka odstupanja. Rezultati konzistentno ukazuju kako ipak dolazi do značajnih promjena u izvršnim funkcijama čak i u ranom djetinjstvu, te se te promjene pripisuju sazrijevanju središnjeg živčanog sustava (Šimleša i Capanec, 2008).

Nakon tih saznanja, provedena su brojna istraživanja o tome kako tjelesna aktivnost utječe na izvršne funkcije kod djece. Gotovo sva istraživanja su pokazala kako tjelesna aktivnost pozitivno utječe na izvršne funkcije djece. Ovi učinci su otkriveni kod autora koji su ispitivali utjecaj jednog tjelesnog vježbanja na izvršne funkcije (Ellemborg i St. Louis Deschênes, 2010; Pesce i sur., 2009; prema Best, 2010), kao i onih koji su ispitivali kako redovito vježbanje u nekom vremenskom periodu utječe na izvršne funkcije (Davis i sur., 2007; prema Best, 2010).

Upravo ranije spomenuta povezanost razvoja živčanog sustava i razvoja izvršnih funkcija može biti objašnjenje ove pojave kod djece. Dugotrajni kognitivni i neuronski razvoj može biti jedan od razloga zbog kojeg su dječje izvršne funkcije osjetljive na učinke tjelesne aktivnosti. I izvršne funkcije i temeljni neuronski krugovi još su nezreli u djetinjstvu te stoga neka iskustva, poput tjelesne aktivnosti, mogu olakšati njihov razvoj ili privremeno poboljšati njihovo funkcioniranje (Best, 2010).

Istraživanja koja su provedena u nekim specifičnim skupinama djece dodatno potvrđuju ova saznanja. Na primjer, Davis i suradnici (2011) su proveli istraživanje u uzorku djece prekomjerne tjelesne težine te su pronašli pozitivan učinak tjelesne aktivnosti na izvršne funkcije. Osim činjenice da je tjelesna aktivnost važna za održavanje tjelesne težine i smanjenje zdravstvenih rizika pretilosti u djetinjstvu, Davis i suradnici (2011) zaključili su da može biti i jednostavna metoda za poboljšanje aspekata dječjeg mentalnog funkcioniranja i kognitivnog razvoja te unaprjeđenja izvršnih funkcija djece. Djeca s poremećajem pažnje i hiperaktivnim poremećajem (eng. *Attention Deficit Hyperactivity Disorder*, ADHD) također mogu imati koristi od tjelesne aktivnosti (Chang i sur., 2012) s obzirom da se pokazalo kako aerobna tjelovježba može utjecati na neke od simptoma ADHD-a putem povezanosti s izvršnim funkcijama. Stoga, tjelesna aktivnost može služiti kao jedna od vrsta bihevioralnog tretmana za razvoj kognitivnih funkcija kod djece s ADHD-om.

#### 4.1.2. Adolescencija

Adolescencija, razdoblje ljudskog razvoja koje se javlja u dobi od 13 do 18 godina, vrijeme je obilježeno značajnim hormonskim, ponašajnim i fizičkim promjenama. U ovoj životnoj fazi također se događa značajna kognitivna reorganizacija, a kao što je ranije spomenuto, prefrontalni korteks koji je povezan s izvršnim funkcijama u ovoj fazi počinje sazrijevati (Li i sur., 2017).

Meta-analiza autora Li i suradnika (2017) pokazuje kako većina istraživanja povezanosti tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija kod adolescenata upućuje kako je ta povezanost pozitivna. No, istraživanje koje su proveli Soga i suradnici (2015) pokazuje da samo vježba umjerenog intenziteta utječe na izvršne funkcije kod adolescenata, i to selektivno. Naime, njihovi rezultati sugeriraju kako tijekom tjelesne aktivnosti adolescenti doživljavaju poboljšanja u inhibicijskoj kontroli, ali promjene u radnom pamćenju nisu pronađene. Potrebna su dodatna istraživanja kako bi se otkrili mehanizmi koji su u osnovi ovog fenomena kako bi se zaključci mogli proširiti izvan laboratorijskih uvjeta na različita područja sportskog, ali i svakodnevnog života.

Jedan od potencijalnih razloga zbog kojih postoji nesklad u rezultatima u istraživanjima s adolescentima bi moglo biti zanemarivanje „pubertetskog statusa“ adolescenata. Naime, samim time što je netko unutar vremenskog razdoblja koje se generalno smatra adolescencijom, ne znači da u isto vrijeme doživljava sve promjene koje su karakteristične za adolescente. Moguće je da varijacije u razini hormona mogu ublažiti utjecaj tjelesne aktivnosti na kogniciju te je stoga bitno i to uzeti u obzir. No, samo mali broj istraživanja (npr. Hillman i sur., 2009; prema Best, 2010) izvještava o pubertetskom statusu svojih ispitanika.

#### 4.1.3. Mlađa i srednja odrasla dob

Odrasla dob, pogotovo mlađa odrasla dob se smatra vrhuncem razvoja ljudskih potencijala i sposobnosti. Jednako tako, izvršne funkcije doživljavaju potpuno sazrijevanje u mlađoj odrasloj dobi. Samim time što su u to vrijeme izvršne funkcije na visokoj razini, ne očekuje se kako će tjelesna aktivnost, zbog učinka stropa, uvelike mijenjati njihovu razinu. Ovo je potvrđeno i u prijašnjim istraživanjima (Li i sur., 2014; Wang i sur., 2015; prema Ludyga i sur., 2016) u kojima u skupini mladih odraslih nisu pronađene promjene uspješnosti na zadacima koji mjere izvršne funkcije nakon odrađene aerobne tjelovježbe.

Ipak, u srednjoj odrasloj dobi dolazi do pada kognitivnih sposobnosti, pa tako i u izvršnim funkcijama. Snižene sposobnosti bi, prema teoriji efekta stropa, trebale omogućiti veći učinak tjelesne aktivnosti na izvršne funkcije. Chang i suradnici (2014) su to i potvrdili. Oni su proveli istraživanje u skupini ljudi srednje odrasle dobi. Sudionici eksperimentalne skupine su obavili



jednu tjelovježbu te su njihove rezultate u zadacima izvršnih funkcija uspoređivali s rezultatima skupine koja se nije bavila tjelesnom aktivnosti. Rezultati su pokazali kako je skupina koja je obavila tjelovježbu ostvarila bolji uspjeh u zadatku koji mjeri izvršne funkcije, točnije u Stroopovom testu.

#### 4.1.4. Starija odrasla dob

Povoljni učinak tjelesne aktivnosti na kognitivne sposobnosti općenito, kao i na izvršne funkcije kod starije dobne skupine, je dokazan mnogim istraživanjima. U njima se pokazalo kako tjelesna aktivnost može smanjiti gubitke u kognitivnom funkcioniranju ili prevenirati kognitivno starenje (Smith i sur., 2010; Sofi i sur., 2011; prema Dai i sur., 2013). Istraživanje koje su proveli Dai i suradnici (2013) također potvrđuje ove rezultate u uzorku starijih odraslih osoba. Naime, sudionici su ispunjavali upitnike putem kojih su istraživači prikupili informacije o njihovoj razini tjelesne aktivnosti u određenom periodu te su mjerene njihove sposobnosti u zadacima izvršnih funkcija. Rezultati su pokazali kako su sudionici koji su općenito aktivniji i obavljaju više tjelesnih aktivnosti bili uspješniji u zadacima koji mjere izvršne funkcije. Ipak, usprkos potvrđenim efektima koje tjelesna aktivnost ima za tjelesno zdravlje, kognitivno funkcioniranje i psihološku dobrobit, s dobi opada učestalost tjelesnih aktivnosti i organiziranog vježbanja te se starije osobe najčešće ne kreću u dovoljnoj mjeri (Đonlić i sur., 2015).

#### 4.2. Utjecaj vrste tjelesne aktivnosti

S obzirom da različite vježbe aktiviraju različite mišiće i općenito imaju drukčije učinke na tijelo, istraživače je zanimalo hoće li različite vrste tjelesne aktivnosti drukčije djelovati i na živčani sustav, pa tako i na izvršne funkcije. U istraživanjima su ispitivane potencijalne koristi različitih vrsta vježbi na kogniciju. Neke od njih su vježbe otpora koje se mogu definirati kao sveobuhvatan pojam koji podrazumijeva trening s vlastitom težinom, trening s elastičnim trakama te trening s utezima. U treningu s otporom cilj je savladati silu koja je nametnuta vježbaču (Fleck i Kraemer, 2014). U istraživanjima koja su ispitivala odnos vježbi otpora i izvršnih funkcija pronađena je pozitivna povezanost između ta dva konstrukta (Chang i sur., 2012; Nagamatsu i sur., 2012; prema Dai i sur., 2013). Nadalje, Schmidt i Wrisberg (2008) su podijelili motoričke vještine na otvorene i zatvorene. Prema njima, vježbe koje zahtijevaju otvorene motorne vještine su one u kojima se okolina neprestano mijenja i stoga se pokreti moraju neprestano prilagođavati. Vještine su uglavnom perceptivne i izvana tempirane, na primjer, vještine potrebne za igranje nogometa ili hokeja. S druge strane, vježbe u kojima se koriste zatvorene motorne vještine su one vježbe koje se odvijaju u stabilnom, predvidljivom okruženju, a izvođač zna što treba učiniti i kada. Na te vještine ne utječe okruženje, a pokreti slijede zadane obrasce i imaju jasan početak i kraj. Primjeri

ovih vježbi su trčanje i plivanje. Istraživanjima se pokazalo kako vježbe koje zahtijevaju otvorene motorne vještine imaju bolje učinke na izvršne funkcije (Lustig i sur., 2009; prema Dai i sur., 2013). To se objašnjava time da vježbe otvorenih motornih vještina zahtijevaju veću kognitivnu angažiranost tijekom izvođenja vježbi te zbog toga unaprjeđuju kogniciju u cjelini (Dai i sur., 2013). Ipak, većina istraživanja je fokusirana na učinak aerobnih vježbi na izvršne funkcije, s obzirom da se pokazalo kako su one povezane s najvećim poboljšanjima u izvršnim funkcijama (Verburgh i sur., 2014).

#### 4.2.1. Aerobne vježbe

Aerobne vježbe vrsta su tjelesne aktivnosti većinom umjerenog intenziteta kojima je glavni cilj poboljšanje zdravlja (Đonlić i sur., 2015). Prilikom izvođenja aerobnih vježbi puls i disanje se ubrzavaju, ali ne do stanja iscrpljenosti. Neke od aktivnosti koje se mogu izvoditi aerobno jesu hodanje, trčanje, ples, plivanje i biciklizam. Nasuprot tome, anaerobne vježbe su one koje se izvode u većem intenzitetu, uzrokuju ostajanje bez daha te ih je moguće izvoditi samo kratak vremenski period (Đonlić i sur., 2015). Primjeri anaerobnog vježbanja su dizanje utega i sprint. Aerobne vježbe su najčešće istraživana vrsta vježbi po pitanju povezanosti s izvršnim funkcijama (Đonlić i sur., 2015). Ispitana je povezanost aerobnih vježbi s mnogim komponentama izvršnih funkcija, no najveći učinci su pronađeni u istraživanjima u kojima se ispitivao utjecaj na inhibiciju. Privremena poboljšanja ove komponente izvršnih funkcija su pronađena i nakon jednog vježbanja (Verburgh i sur., 2014). No, prilikom ispitivanja promjena u mentalnoj fleksibilnosti i radnom pamćenju, rjeđe su pronađeni pozitivni učinci tjelesne aktivnosti nego što je to slučaj s komponentom inhibicije (Li i sur., 2014; Pontifex i sur., 2009; prema Ludyga i sur., 2016).

S obzirom na dokazane benefite aerobne aktivnosti, kako na fizičko zdravlje, tako i na kognitivne sposobnosti, provedena su i brojna istraživanja koja su pokušala objasniti podlogu te povezanosti. Tako je otkriveno kako aerobna aktivnost potiče oslobađanje tvari koje promoviraju rast neurona što omogućuje veću plastičnost sinapsi i stimulira rast neurona u hipokampusu, dijelu mozga uključenim u proces učenja i pamćenja (Hilman i sur., 2008; prema Đonlić i sur., 2015). Te fiziološke promjene u mozgu bi mogle biti objašnjenje nastanka kognitivnih promjena. Nadalje, slično kao kod vježbi u kojima se koriste otvorene motorne vještine, aerobne vježbe često zahtijevaju kognitivnu angažiranost. Neki istraživači stoga poveznicu između aerobnih vježbi i izvršnih funkcija pronalaze upravo u kognitivnoj zahtjevnosti aerobnih vježbi (Sibley i Etnier, 2003; Tomporowski i sur., 2008; prema Best, 2010). Uz to, samo izvođenje složenih motoričkih pokreta, koje aerobne vježbe često zahtijevaju, također aktivira neuronske krugove povezane s izvršnim funkcijama. Diamond (2000) sugerira postojanje neuronske veze između malog mozga

koji je zadužen za složeno i koordinirano kretanje i dorzolateralnog prefrontalnog korteksa kritičnog za izvršne funkcije.

#### 4.3. Utjecaj intenziteta tjelesne aktivnosti

Prijašnja istraživanja pokazuju da intenzitet tjelesne aktivnosti utječe na to kolike će biti promjene u kognitivnim sposobnostima osobe (Lambourne i Tomporowski, 2010; prema Ludyga i sur., 2016). Pretpostavlja se da krivulja povezanosti intenziteta vježbanja i kognitivnih poboljšanja izgleda poput obrnutog slova U, odnosno vježbe vrlo niskog i vrlo visokog intenziteta najmanje utječu na poboljšanje kognitivnih sposobnosti, dok vježbe srednjeg intenziteta imaju najveći utjecaj (Brisswalter i sur., 2002; prema Ludyga i sur., 2016). Ovu teoriju je podržala meta-analiza McMorrisa i Halea (2012) koja je pokazala da aerobna tjelovježba srednjeg intenziteta dovodi do većeg poboljšanja kognitivnih performansi od vježbanja pri laganom ili jakom intenzitetu.

Gledajući s biološkog stajališta, objašnjenje povezanosti intenziteta tjelesne aktivnosti i kognitivnih poboljšanja pronalazi se u radu živčanog i kardiovaskularnog sustava. Budući da različiti intenziteti vježbanja aktiviraju mišiće u različitim količinama i stoga zahtijevaju različit rad srca, povećanje intenziteta vježbanja bi moglo biti povezano s povećanim protokom krvi i stimulacijom hipokampusa putem moždanog neurotrofnog čimbenika. Uzimajući to u obzir, komponente vježbanje poput intenziteta, učestalosti, vrste i trajanja vježbe vjerojatno će izravno utjecati na kognitivne rezultate (Li i sur., 2017).

Mnoga istraživanja pružaju daljnje dokaze o pozitivnom utjecaju vježbi umjerenog intenziteta na izvršne funkcije. Naime, Kamijo i suradnici (2009; prema Ludyga i sur., 2016) su pronašli da dolazi do većeg poboljšanja inhibicijske kontrole nakon umjerene tjelovježbe u usporedbi s aerobnom tjelovježbom niskog intenziteta i kod mlađih i kod starijih odraslih osoba. U skladu s tim rezultatima, Cordova i suradnici (2009; prema Ludyga i sur., 2016) izvijestili su o poboljšanju izvedbe u zadacima koji su mjerili kognitivnu fleksibilnost i sposobnost planiranja kod starijih odraslih osoba već nakon 25 minuta aerobne vježbe umjerenog intenziteta. Lowe i suradnici (2014; prema Ludyga i sur., 2016) su u svom istraživanju uspoređivali kontrolnu skupinu sa skupinom koja je biciklirala umjerenim intenzitetom 35 minuta te sa skupinom koja je obavljala vježbe visokog intenziteta jednako dugo. Rezultati su pokazali kako je skupina koje je vježbala umjerenim intenzitetom postigla bolje rezultate na mjerama inhibicijske kontrole nego kontrolna skupina, dok nikakva promjena za tu komponentu izvršne funkcije nije pronađena između skupine koja je vježbala visokim intenzitetom i kontrolne skupine.

Suprotno tome, neka istraživanja nisu u skladu s prethodno navedenim nalazima koji sugeriraju kako je umjerenja tjelesna aktivnost najučinkovitija. Na primjer, Loprinzi i Kane (2015; prema Ludyga i sur., 2016) nisu pronašli nikakav učinak tridesetominutne aerobne vježbe pri niskom, umjerenom niti visokom intenzitetu na kognitivnu fleksibilnost u usporedbi s kontrolnom skupinom. Nadalje, Buyn i suradnici (2014; prema Ludyga i sur., 2016) otkrili su poboljšanja u inhibicijskoj kontroli nakon kratkog aerobnog vježbanja slabog intenziteta u usporedbi s kontrolnom skupinom. Također, neka istraživanja pokazuju da aerobna tjelovježba visokog intenziteta također može dovesti do poboljšanja u izvršnim funkcijama. Barenberg i suradnici (2015; prema Ludyga i sur., 2016) izvijestili su o poboljšanju u kognitivnoj fleksibilnosti u skupini koja je odradila vježbe visokog intenziteta do iscrpljenosti, u odnosu na kontrolnu skupinu. Slično tome, povećana učinkovitost u zadacima inhibicijske kontrole pronađena je i u uzorku starijih odraslih osoba nakon treninga visokog intenziteta (Alves i sur., 2014; prema Ludyga i sur., 2016). Suprotno tome, autori nisu pronašli promjene u radnom pamćenju.

Dakle, vidljivo je kako različita istraživanja donose različite zaključke o povezanosti intenziteta vježbanja i izvršnih funkcija. Ipak, većina istraživanja koja je ispitivala učinke izvođenja vježbi različitih intenziteta pokazuje kako do najvećih poboljšanja u izvršnim funkcijama dolazi nakon aerobnih vježbi umjerenog intenziteta. Uz to, prijašnja istraživanja istaknula su kako je intenzitet vježbe primarni moderator učinka jednokratnog vježbanja na izvršne funkcije, s tim da vježbanje umjerenim intenzitetom najviše pogoduje poboljšanju izvršnih funkcija (McMorris i Hale, 2012).

#### 4.4. Utjecaj tjelesne kondicije osobe

Kao što je važna razina kognitivnih sposobnosti sudionika prije sudjelovanja u istraživanju, odnosno razina njihovih izvršnih funkcija, važna je i razina njihovih tjelesnih sposobnosti. Njihova kondicija ili forma, odnosno prijašnje navike i učestalost obavljanja tjelesne aktivnosti i tjelovježbe mogu potencijalno utjecati na rezultate u istraživanjima u kojima se ispituje povezanost tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija. Naime, prijašnja istraživanja sugeriraju da je bolja izvedba u zadacima koji mjere izvršne funkcije pozitivno povezana s boljom tjelesnom kondicijom osobe (Chaddock i sur., 2011; prema Soga i sur., 2015). Također, pokazalo se da redovito izvođenje aerobnih vježbi, dakle dobra tjelesna kondicija osobe vodi pozitivnim učincima na izvršne funkcije tijekom razvoja mladih pojedinaca (Buck i sur., 2008; prema Soga i sur., 2015). Luque-Casado i suradnici (2013; prema Soga i sur., 2015) pokazali su da su sudionici koji su bili u dobroj tjelesnoj kondiciji imali kraće vrijeme reakcije u zadacima psihomotorne budnosti, s većim parametrima varijabilnosti srčanog ritma u usporedbi s osobama koje nisu bile u dobroj kondiciji, odnosno

osobama koje su se rjeđe bavile tjelesnim aktivnostima. Ovi rezultati sugeriraju da dobra kondicija, odnosno redovito bavljenje tjelesnim aktivnostima, može biti korisno i za izvršne funkcije. Na temelju toga može se pretpostaviti kako je dobra tjelesna kondicija uključena u složeni odnos između tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija (Soga i sur., 2015).

## 5. Nedostaci istraživanja

Proučavajući prijašnja istraživanja koja su ispitivala povezanost tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija moguće je pronaći mnoge otežavajuće faktore i nedostatke. Većina ih se odnosi na sam konstrukt izvršnih funkcija te na nesklad u metodologiji različitih istraživanja. Najprije, nepostojanje jedne, univerzalno prihvaćene definicije izvršnih funkcija uvelike otežava njihovo istraživanje. Salthouse (2005; prema Etnier i Chang, 2009) smatra kako su izvršne funkcije toliko slabo definirane da nisu konstrukt koji se može smatrati neovisnim od ostalih kognitivnih sposobnosti te se stoga ne bi trebao zasebno istraživati. Izvijestio je da su varijable izvršnih funkcija snažno povezane s rasuđivanjem, percepcijskom brzinom i fluidnom inteligencijom (Salthouse, 2005; Salthouse i Davis, 2006; prema Etnier i Chang, 2009). Ipak, drugi istraživači nisu pronašli snažnu povezanost izvršnih funkcija i inteligencije (Welsh i sur., 1991; prema Vučković i Ručević, 2017) ili su pronašli povezanost inteligencije s jednom komponentom izvršnih funkcija, odnosno radnim pamćenjem, ali ne i s inhibicijom i mentalnom fleksibilnosti (Friedman i sur., 2006; Duan i sur., 2010; prema Vučković i Ručević, 2017). Engelhardt i suradnici (2017; prema Vučković i Ručević, 2017) navode kako, iako su djelomično povezani, inteligencija i izvršne funkcije jesu različiti konstrukti. S obzirom na to, izvršne funkcije se ispituju kao zaseban pojam te se najčešće definiraju kao višekomponentni konstrukt koji se sastoji od nekoliko različitih, ali međusobno povezanih procesa. Svaka od tih komponenata slijedi jedinstven razvojni tijek, te svaka sazrijeva u različito vrijeme, u ranoj ili kasnoj adolescenciji ili tek u ranoj odrasloj dobi. Moguće je, dakle, da vježbanje neće utjecati na svaku komponentu izvršnih funkcija jednako ili da će određene komponente biti osjetljivije na specifične oblike tjelesne aktivnosti (Best, 2010). Stoga, potrebno je obratiti pažnju na to koji se zadaci koriste kao mjera izvršnih funkcija. Preporučuje se korištenje više zadataka koji su povezani s više komponenti izvršnih funkcija kako bi se utvrdilo jesu li određene komponente osjetljivije, a ukoliko se koristi samo jedan ili manji broj zadataka, tada rezultate ne bi trebalo generalizirati na cjelokupni konstrukt izvršnih funkcija (Etnier i Chang, 2009).

Dodatno, jedan od glavnih razloga nesklada među rezultatima različitih istraživanja jesu metodološke razlike, odnosno korištenje različitih metodoloških pristupa koji nastaju zbog toga što neki istraživači ne diferenciraju komponente izvršnih funkcija, dok se drugi fokusiraju isključivo

na posebne dobne skupine ili skupine koje su specifične po nekom drugom kriteriju (npr. razini tjelesne kondicije). Također, većina istraživanja ne uzima u obzir prijašnju tjelesnu kondiciju sudionika, a postoje naznake kako ta komponenta tjelesne aktivnosti može utjecati na rezultate istraživanja s obzirom da se pokazalo kako je početna uspješnost u zadacima koji mjere izvršne funkcije veća kod osoba koje su u dobroj tjelesnoj kondiciji u usporedbi s onima koji nisu (Soga i sur., 2015). Sveukupno, mnogo je različitosti koje se pojavljuju u prijašnjim istraživanjima i koje otežavaju uspoređivanje i generaliziranje njihovih rezultata. Različiti istraživači definiraju izvršne funkcije na mnoge načine, ispituju ih različitim zadacima, provode različite vrste tjelesne aktivnosti koje bi mogle drugačije utjecati na izvršne funkcije te provode istraživanja sa sudionicima koji pripadaju specifičnim skupinama. Stoga je u budućim istraživanjima potrebno uskladiti definiranje izvršnih funkcija i metodologiju provedbe istraživanja kako bi se rezultati mogli uspoređivati, generalizirati te donositi zaključci koji bi bili korisni i primjenjivi u svakodnevnom životu.

## 6. Zaključak

Sumirajući sve prikazano u ovom radu može se zaključiti kako su tjelesna aktivnost i izvršne funkcije pozitivno povezane. Kroz rad su prikazana brojna istraživanja koja ukazuju kako je sudjelovanje u tjelesnim aktivnostima pozitivno povezano s boljim učinkom u zadacima kojima se mjere izvršne funkcije. S jedne strane, raznolikost u načinima mjerenja ove povezanosti otežava generaliziranje i donošenje općih zaključaka, a s druge strane produbljuje znanje i daje uvid u složenost povezanosti ovih konstrukata. Dob sudionika se pokazala relevantnom varijablom u povezanosti tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija. Čini se kako djeca i stariji imaju najviše koristi od tjelesne aktivnosti, dok su promjene u uspješnosti u zadacima koji mjere izvršne funkcije uslijed tjelovježbe rjeđe pronađene kod skupine mlađih osoba i osoba srednje odrasle dobi. Jedno od mogućih objašnjenja ove povezanosti bi mogao biti efekt stropa kojim se pretpostavlja kako su osobe s nižim sposobnostima sklonije doživjeti promjene u tim sposobnostima uslijed intervencije. Djeca zbog nerazvijenosti prefrontalnog korteksa, a stariji zbog kognitivnog starenja jesu skupine koje generalno karakterizira niži stupanj razvijenosti izvršnih funkcija, dok su odrasli, pogotovo mlađi odrasli, na vrhuncu svojih sposobnosti. Ipak, istraživanja provedena među adolescentima pružaju dvojake rezultate, te su potrebna dodatna istraživanja koja bi produbila saznanja o ovom prijelaznom razvojnom razdoblju. Osim karakteristika sudionika, karakteristike tjelesne aktivnosti također imaju važnu ulogu u istraživanoj povezanosti. Najviše je istraživani utjecaj vrste tjelesne aktivnosti. Iako su pronađeni pozitivni učinci gotovo svih vrsta tjelesne aktivnosti na izvršne funkcije, najkonzistentniji su rezultati istraživanja s aerobnim vježbama. Pokazalo se kako su živčani putevi koji su aktivirani za vrijeme obavljanja aerobnih vježbi povezani sa živčanim

putevima koji se aktiviraju prilikom obavljanja zadataka koji zahtijevaju korištenje izvršnih funkcija. Također, aerobne vježbe su uglavnom vježbe umjerenog intenziteta, a u usporedbi s vježbama visokog i niskog intenziteta, one su pokazale bolje učinke na izvršne funkcije. Pozitivna povezanost između tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija dodatno je potvrđena i proučavajući utjecaj tjelesne kondicije, odnosno forme osobe i njezinog učinka u zadacima izvršnih funkcija. Dakako da postoje i istraživanja u kojima povezanost tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija nije pronađena, no to može biti objašnjeno i nedostacima samog istraživanja i metodologije. S obzirom na složenost opisanih konstrukata, moguće je zaključiti kako je povezanost tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija vrlo kompleksna te je prilikom istraživanja te zaključivanja o ovoj povezanosti potrebno biti oprezan i uzeti u obzir brojne faktore koji na tu povezanost mogu utjecati. Kako bi se produbilo razumijevanje povezanosti tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija potrebno je u budućim istraživanjima detaljnije ispitati mehanizme u podlozi ove povezanosti.

Rezultati prikazani u ovom radu mogu biti od velike koristi u svakodnevnom životu. Prije svega, to se odnosi na saznanja da su tjelesna aktivnost i izvršne funkcije visoko povezane u dječjoj dobi. Čak i jedno aerobno vježbanje ima pozitivne učinke na izvršne funkcije djece, a svako poboljšanje u kognitivnim sposobnostima može doprinjeti boljem školskom uspjehu. Ipak, u obrazovnom sustavu je tjelesna aktivnost često svedena na samo jedan školski predmet, Tjelesnu kulturu, te neke izborne dodatne aktivnosti (npr. nogomet, rukomet ili gimnastika koji su često ponuđeni kao izvannastavne aktivnosti), dok su ostali predmeti fokusirani na razvijanje drugih, najčešće verbalnih sposobnosti. Stoga, potrebno je to kratko vrijeme posvećeno tjelesnim aktivnostima dobro iskoristiti. Jedan od programa koji su se pokazali djelotvornima je onaj koji su ispitali Kubesch i suradnici (2009) na osnovnoškolcima. Taj tridesetominutni program ukazuje kako aerobne vježbe odrađene za vrijeme školskog predmeta Tjelesne kulture pozitivno utječu na izvršne funkcije, ali i na opću uspješnost u predmetima koji slijede nakon tog školskog sata. Stoga se preporučuje da Tjelesna kultura ne bude zadnja u rasporedu sati, nego da se smjesti prije zahtjevnih predmeta, poput matematike. Nadalje, osim aerobnih vježbi, koje se ističu kao najkorisnije, djecu bi trebalo angažirati i u sportovima poput nogometa ili hokeja koji bi od njih zahtijevali i složene motoričke pokrete i kompleksne misaone procese, a u isto vrijeme bi ih zabavili. Stvaranje navika o bavljanju tjelesnom aktivnosti u ranoj dječjoj dobi će pozitivno utjecati i na kasniji razvoj, s obzirom da je pozitivna povezanost tjelesne aktivnosti i izvršnih funkcija pronađena i u ostalim životnim razdobljima s naglaskom na stariju odraslu dob, kada tjelesna aktivnost može usporiti kognitivno starenje.

## 7. Literatura

- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 49A(1), 5-28.  
<https://doi.org/10.1080/027249896392784>
- Berger, B. G. (1994). Coping With Stress: The Effectiveness of Exercise and Other Techniques. *Quest*, 46(1), 100-119. <https://doi.org/10.1080/00336297.1994.10484112>
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, 30(4), 331-351.  
<https://doi.org/10.1016/j.dr.2010.08.001>
- Brajčić, R. (1976). Problem duša — tijelo. *Obnovljeni Život*, 31(3), 222-234.  
<https://hrcak.srce.hr/58037>
- Bunjić, M. i Barić, R. (2009). Tjelesno vježbanje i neki aspekti psihološkog zdravlja. *Hrvatski športskomedicinski vjesnik*, 24(2), 65-75. <https://hrcak.srce.hr/47831>
- Calhoun, J. A. (2006) Executive Functions: A Discussion of the Issues Facing Children with Autism Spectrum Disorders and Related Disorders. *Seminars in Speech and Language*, 27(1), 60-72. <https://doi.org/10.1055/s-2006-932439>
- Chang, Y. K., Liu, S., Yu, H. H. i Lee, Y. H. (2012). Effect of Acute Exercise on Executive Function in Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 27(2), 225-237. <https://doi.org/10.1093/arclin/acr094>
- Chang, Y. K., Tsai, C. L., Huang, C. C., Wang, C. C. i Chu, I. H. (2014). Effects of acute resistance exercise on cognition in late middle-aged adults: General or specific cognitive improvement? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(1), 51-55.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.02.007>



- Chang, Y. K., Tsai, C. L., Hung, T. M., So, E. C., Chen, F. T. i Etnier, J. L. (2011). Effects of Acute Exercise on Executive Function: A Study With a Tower of London Task. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 33(6), 847-865. <https://doi.org/10.1123/jsep.33.6.847>
- Dai, C. T., Chang, Y. K., Huang, C. J. i Hung, T. M. (2013). Exercise mode and executive function in older adults: An ERP study of task-switching. *Brain and Cognition*, 83(2), 153-162. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.07.007>
- Daly, M., McMinn, D. i Allan, J. L. (2015). A bidirectional relationship between physical activity and executive function in older adults. *Frontiers in human neuroscience*, 8(1), 1044. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01044>
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E., Allison, J. D. i Naglieri, J. A. (2011). Exercise Improves Executive Function and Achievement and Alters Brain Activation in Overweight Children: A Randomized, Controlled Trial. *Health Psychology*, 30(1), 91-98. <https://doi.org/10.1037/a0021766>
- Dehaene, S. i Changeux, J. P. (1991). The Wisconsin Card Sorting Test: Theoretical analysis and modeling in a neuronal network. *Cerebral cortex*, 1(1), 62-79. <https://doi.org/10.1093/cercor/1.1.62>
- de Greeff, J. W., Bosker, R. J., Oosterlaan, J., Visscher, C. i Hartman, E. (2018). Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: a meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*, 21(5), 501-507. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.09.595>
- Diamond, A. (2000). Close Interrelation of Motor Development and Cognitive Development and of the Cerebellum and Prefrontal Cortex. *Child Development*, 71(1), 44-56. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00117>
- Đonlić, V., Berčić, B., Perak, B., Smojver Ažić, S. i Takšić, V. (2015). Multidisciplinarno poimanje tjelesnog vježbanja. *Filozofska istraživanja*, 35(3), 493-508. <https://hrcak.srce.hr/158784>
- Etnier, J. L. i Chang, Y. K. (2009). The Effect of Physical Activity on Executive Function: A Brief Commentary on Definitions, Measurement Issues, and the Current State of the Literature. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31(4), 469-483. <https://doi.org/10.1123/jsep.31.4.469>

- Fleck, S. J. i Kraemer, W. (2014). *Designing Resistance Training Programs, 4th Edition*. Human Kinetics.
- Kramer, A. F., Humphrey, D. G., Larish, J. F., Logan, G. D. i Strayer, D. L. (1994). Aging and Inhibition: Beyond a Unitary View of Inhibitory Processing in Attention. *Psychology and Aging*, 9(4), 491–512. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.9.4.491>
- Krikorian, R., Bartok, J. i Gay, N. (1994). Tower of London procedure: a standard method and developmental data. *Journal of clinical and Experimental Neuropsychology*, 16(6), 840-850. <https://doi.org/10.1080/01688639408402697>
- Kubesch, S., Walk, L., Spitzer, M., Kammer, T., Lainburg, A., Heim, R. i Hille, K. (2009). A 30-Minute Physical Education Program Improves Students' Executive Attention. *Mind, Brain, and Education*, 3(4), 235-242. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2009.01076.x>
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Loring, D. W., Hannay, H. J. i Fischer, J. S. (2004). *Neuropsychological Assessment*. Oxford University Press.
- Li, J. W., O'Connor, H., O'Dwyer, N. i Orr, R. (2017). The effect of acute and chronic exercise on cognitive function and academic performance in adolescents: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(9), 841-848. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.025>
- Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E. i Pühse, U. (2016). Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis. *Psychophysiology*, 53(11), 1611-1626. <https://doi.org/10.1111/psyp.12736>
- McMorris, T. i Hale, B. J. (2012). Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: A meta-analytical investigation. *Brain and Cognition*, 80(3), 338–351. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.09.001>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H. i Howerter, A. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Rabbitt, P. (2004). *Methodology of Frontal and Executive Function*. Psychology Press.

- Scarpina, F. i Tagini, S. (2017). The stroop color and word test. *Frontiers in psychology*, 8, 557. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00557>
- Schmidt, R. A. i Wrisberg, C. A. (2008). *Motor Learning and Performance: A Situation-Based Learning Approach*. Human Kinetics.
- Shallice, T. (1990). *From Neuropsychology to Mental Structure*. Cambridge University Press.
- Soga, K., Shishido, T. i Nagatomi, R. (2015). Executive function during and after acute moderate aerobic exercise in adolescents. *Psychology of Sport and Exercise*, 16, 7-17. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.08.010>
- Šimleša, S. (2011). Izvršne funkcije i teorija uma kod osoba s poremećajem iz autističnoga spektra. *Psihologijske teme*, 20(1), 91-113. <https://hrcak.srce.hr/68725>
- Šimleša, S. i Cepanec, M. (2008). Razvoj izvršnih funkcija i njihovih neuroloških korelata. *Suvremena psihologija*, 11(1), 55-72. <https://hrcak.srce.hr/81398>
- Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H. i Naglieri, J. A. (2008). Exercise and Children's Intelligence, Cognition, and Academic Achievement. *Educational Psychology Review*, 20(2), 111–131. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9057-0>
- Troyer, A. K., Leach, L. i Strauss, E. (2006). Aging and Response Inhibition: Normative Data for the Victoria Stroop Test. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 13(1), 20-35. <https://doi.org/10.1080/138255890968187>
- Verburgh, L., Konigs, M., Scherder, E. J. A. i Oosterlaan, J. (2014). Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(12), 973–979. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091441>
- Vučković, S. i Ručević, S. (2017). Procjena djece u sustavu socijalne skrbi: Važnost izvršnih funkcija. *Ljetopis socijalnog rada*, 24(3), 453-477. <https://doi.org/10.3935/ljsr.v24i3.155>
- Rončević Zubković, B. (2010). Ustrojstvo radnog pamćenja i njegova uloga u jezičnom procesiranju. *Psihologijske teme*, 19(1), 1-29. <https://hrcak.srce.hr/56827>