

# Utjecaj bilateralnoga naspram unilateralnoga vježbanja na izvedbu skoka u vis prekoračnom tehnikom

---

Ljubičić, Sanja

Doctoral thesis / Disertacija

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:692958>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)





Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Sanja Ljubičić

**UTJECAJ BILATERALNOGA NASPRAM  
UNILATERALNOGA VJEŽBANJA NA  
IZVEDBU SKOKA U VIS  
PREKORAČNOM TEHNIKOM**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2022.



University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Sanja Ljubičić

**THE INFLUENCE OF BILATERAL  
VERSUS UNILATERAL EXERCISING IN  
PERFORMING HIGH JUMP USING  
SCISSORS TECHNIQUE**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2022.



Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Sanja Ljubičić

**UTJECAJ BILATERALNOGA NASPRAM  
UNILATERALNOGA VJEŽBANJA NA  
IZVEDBU SKOKA U VIS  
PREKORAČNOM TEHNIKOM**

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Ljubomir Antekolović

Zagreb, 2022.



University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Sanja Ljubičić

**THE INFLUENCE OF BILATERAL  
VERSUS UNILATERAL EXERCISING IN  
PERFORMING HIGH JUMP USING  
SCISSORS TECHNIQUE**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: prof. Ljubomir Antekolović, PhD

Zagreb, 2022.

## **ŽIVOTOPIS MENTORA**

Dr. sc. Ljubomir Antekolović, redoviti profesor Kineziološkog fakulteta u Zagreb, rođen je 1973. godine u Varaždinu. Osnovnu školu završio je u Knegincu, a srednju u Varaždinu. Na Fakultetu za fizičku kulturu u Zagrebu diplomirao je 1997., magistrirao 2002. i doktorirao 2007. godine.

Trenutačno na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu obnaša funkciju prodekana za osiguranje i unaprjeđenje kvalitete. Nositelj je predmeta Atletika – bacanja i skokovi te izbornog predmeta Audiovizualna sredstva u sportu na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu. Obnašao je i dužnost predstojnika Zavoda za kineziologiju sporta.

Za vrijeme studija nagrađen je Rektorovom nagradom za rad „Biomehanička analiza skoka u dalj mlade perspektivne atletičarke”. Sudjelovao je na domaćim i međunarodnim znanstveno-stručnim konferencijama i istraživanjima, napisao je ili sudjelovao u izradi 38 znanstvenih radova. Objavio je jedan priručnik, sudjelovao u pisanju dvaju poglavlja znanstvene monografije, recenzirao znanstvene članke za domaće i strane časopise te međunarodne konferencije. Sudjelovao je na trima znanstvenim projektima iz područja biomehanike: „Sustav za biomehaničku analizu u sportu”, „Biomehanička optimalizacija sportskih tehnika”, i „Biomehanička efikasnost vrhunskih hrvatskih sportaša”, a bio je i voditelj posljednjeg znanstvenog projekta u završnoj fazi.

## ZAHVALA

U ovaj znanstveno-istraživački rad bio je uključen cijeli tim ljudi bez kojih se ovaj projekt ne bi uspio ni realizirati niti napisati.

Veliku zahvalu prvenstveno upućujem svojem mentoru, prof. dr. sc. Ljubomiru Antekoloviću, za sve riječi podrške i ohrabrenja, za razumijevanje i savjete, stručno vodstvo te usmjeravanje kada bih se našla u problemu.

Hvala Mariju Bakoviću, Vedranu Dukariću, Nataši Pavić, Emini Mulaosmanović, Ani Matrljan, Sanji Đini, Marinu Dotliću, Gordanu Dugini, Andrei Kusić, Veroniki Jurčić, Tomislavu Uzelcu-Šćiranu, Svjetlani Legović i Ivoni Krajačić koji su bili uključeni u realizaciju mjerenja i provođenje programa.

Veliko hvala Atletskom klubu Kvarner koji mi je omogućio provođenje projekta te svim ispitanicima, članovima Atletskog kluba Kvarner, njihovim roditeljima, bakama i djedovima i drugim bliskim ljudima što su ih redovito dovodili na treninge i mjerenja.

Hvala i Ani Kandare Šoljaga, osobi koja je bila uz mene tijekom cijelog „putovanja”, od mojeg promišljanja o tome da uopće upišem poslijediplomski doktorski studij pa do završetka. Svojim savjetima i podrškom svakako je pridonijela završetku mojeg dokorskog studija.

Od neizmjerne pomoći bila je moja obitelj, a posebnu posvetu upućujem pokojnom ocu koji bi danas bio iznimno ponosan, koji je aktivno pratio moj napredak i bio prisutan do provedbe posljednjeg mjerenja ovog projekta. Za sve riječi zahvale majci, ocu, Vedranu, Greti i Damiru ne bi bile dovoljne ni sve stranice ovog dokorskog rada, stoga samo kažem „ogromno hvala” na neizmjernoj ljubavi i strpljenju.

Hvala i svim prijateljima na riječima podrške i ohrabrenja!

**Sanja Ljubičić**

## SAŽETAK

Cilj ovog rada bio je utvrditi razlike u učincima bilateralnog i unilateralnog vježbanja primjenom specifičnih vježbi skokova (SVS) na izvedbu skoka u vis prekoračnom tehnikom i utvrditi nastale promjene u živčano-mišićnoj funkciji djece i mladih sportaša odrazom s dominantne noge. Uzorak ispitanika činila su sedamdeset i četiri djeteta u dobi od sedam do dvanaest godina ( $AS \pm SD, 9,24 \pm 1,34$ ). Ispitanici su bili raspoređeni u dvije eksperimentalne skupine. Eksperimentalni program trenažnih intervencija trajao je dvanaest tjedana tijekom kojih su ukupno realizirane dvadeset i četiri trenažne jedinice. Sudionici prve eksperimentalne skupine (ES1;  $n = 41$ ) provodili su specifične vježbe skokova primjenom lijevog i desnog donjeg ekstremiteta (bilateralni trening), dok su sudionici druge eksperimentalne skupine (ES2;  $n = 33$ ) provodili isti set vježbi isključivo sa svojom odraznom nogom (unilateralni trening). Kriterij isključenja ispitanika iz uzorka bio je sudjelovanje ispitanika na manje od 80 % treninga te bilo koji oblik sportske ozljede ili bolesti. Prije i nakon trenažne intervencije ispitanici su podvrgnuti testiranju skoka u vis prekoračnom tehnikom, unilateralnog dubinsko-daljinskog skoka i unilateralne statičke ravnoteže, a svaki navedeni test izvodio se s unaprijed određenom odraznom nogom. Nakon završenih trenažnih intervencija obje eksperimentalne skupine ostvarile su statistički značajan napredak u rezultatu skoka u vis prekoračnom tehnikom (ES1 – završno mjerenje 1 6,70 %, retencija 5,37 %, ES2 – završno mjerenje 1 6,32 %, retencija 6,32 %), a bilateralna skupina ujedno je značajno smanjila translaciju mjernog uređaja u medio-lateralnom smjeru u završnom mjerenju ( $C = 72,10, Q_{3-1} = 47,01$ ) u odnosu na početno mjerenje ( $C = 87,73, Q_{3-1} = 45,01$ ). Provedbom testa unilateralnog dubinsko-daljinskog skoka koji daje uvid u promjene živčano-mišićnih funkcija (eksplozivna i maksimalna jakost) nisu se utvrdile statistički značajne promjene u niti jednoj promatranoj varijabli.

Najznačajniji nalaz ovog istraživanja jest da se nisu utvrdili statistički značajni interakcijski učinci između faktora vremena mjerenja i trenažne intervencije u niti jednoj promatranoj varijabli koji bi ukazali na to je li jedna trenažna intervencija bolja ili lošija od druge. Raspodjela ukupnog volumena opterećenja primjenom specifičnih vježbi skokova na lijevi i desni donji ekstremitet djeluje jednako učinkovito kao i vježbanje isključivo dominantnom nogom kod djece. Dakle, oba načina vježbanja poboljšavaju promatrane



parametre koje ukazuju na promjene u obrascu kretanja i sposobnosti, no nema razlika kad se promatra učinkovitost jednog naspram drugog načina vježbanja

Nakon dvanaest tjedana izvođenja specifičnih vježbi skokova primjenom dominantnog i nedominantnog donjeg ekstremiteta mogu se očekivati promjene u transferu motoričkih vještina, međumišićnoj koordinaciji i blagim prosječnim promjenama u kinematičkim parametrima. Stoga se može opservirati da utvrđeni rezultati imaju vrlo važan praktični doprinos, posebno u radu s djecom rane školske dobi, a prije svega zbog ravnomjernijeg mišićnog i lokomotornog razvoja. Nadalje, takav pristup omogućuje unapređenje sposobnosti koordinacije tijela u prostoru, simetričan razvoj jakosti, snage, statičke ravnoteže, a uporaba obiju strana tijela važna je i za učenje novih i složenijih motoričkih kretnji. Rezultati istraživanja mogu se primijeniti ne samo u treningu skoka u vis, već općenito u treningu skokova, odnosno odraza.

**Ključne riječi:** skok u vis prekoračnom tehnikom, dominantna noga, živčano-mišićna funkcija, djeca rane školske dobi

## ABSTRACT

The aim of this thesis is to determine differences in effects of bilateral and unilateral exercising by applying specific ways of high jump performing the high jump with the scissors technique, and to measure any changes created in neuromuscular function of children and young sportsman with a take-off from the dominant leg. The sample pool consisted of 74 children, ages 7 -12 ( $AS \pm SD$ ;  $9.24 \pm 1.34$ ). These were divided in two experimental groups. The experimental program of training interventions lasted twelve weeks during which 24 training units were accomplished. The participants of the first experimental group (ES1;  $n=41$ ) performed a specific practice of jumps, applying left and right lower extremities (bilateral training), while the participants of the second group (ES2;  $n=33$ ) performed the same exercise explicitly with their take-off leg (unilateral training). The criteria to exclude a participant from the pool happened when a person participated in less than 80% of training, or due to any form of injury or illness. Before and after the training intervention examinees were tested for high jump with scissors technique, unilateral horizontal drop jump and unilateral static balance. Each of these mentioned tests was performed with a take-off leg designated in advance. After the training intervention, both experimental groups achieved statistically remarkable progress in results of high jump with scissors technique (ES1- final measuring 1; 6.70% retention; 5.37%; ES2- final measuring 1; 6.32%, retention; 6.32%), and the bilateral group decreased immensely with the oscillation of the measuring device in the mediolateral direction during final measuring ( $C=72.10$ ,  $Q_{3-1}=47.01$ ) compared to the initial measuring ( $C=87.73$ ,  $Q_{3-1}=45.01$ ). By testing the unilateral horizontal jump, which provides an insight into neuromuscular functions (explosive and maximal strength), there are no statistically significant changes in any of the observed variables.

The most significant finding of this research is the fact that there are no determined statistically significant interactive effect between the factor of time measuring and training intervention in neither of the observed variables, that would point out one training intervention as better or worse than the other. The division of the total load volume by applying specific exercises of jumps to left and right lower extremities is as effective as exclusively exercising with dominant leg in children.

After twelve weeks of applying specific exercise through jumps with dominant and non-dominant lower extremities, it is possible to expect changes in transfer of motoric skills, intramuscular coordination and slight average changes in kinematic parameters. Therefore, it is possible to observe that results found have a very significant practical use, especially in work with children of early school age, and, most of all, in symmetric muscular and locomotor development. Furthermore, this approach enables advances in coordinative body skills in space, symmetric development of strength, power, and static balance. The use of both sides of the body is important for apprehension of new and complicated motoric movements. It is possible to use these research results not in high jump training only, but also generally in regard to jumps and take offs.

**Key words:** high jump using scissors technique, dominant leg, neuromuscular function, children of early school age



Sveučilište u Zagrebu

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD U PROBLEM</b> .....	1
1.1. Razvoj skoka u vis.....	1
1.2. Skok u vis prekoračnom tehnikom .....	2
1.3. Metodika učenja skoka u vis prekoračnom tehnikom .....	4
1.4. Motoričko učenje.....	5
1.5. Bilateralni transfer kao fiziološki fenomen .....	9
1.5.1. Terminologija.....	9
1.5.2. Teorijski modeli prijenosa .....	10
1.5.3. Primjena dominantnih i nedominantnih ekstremiteta .....	14
1.6. Bilateralna integracija.....	15
1.7. Kontralateralni učinci nakon treninga jakosti i motoričkog učenja.....	16
1.8. Problem istraživanja .....	19
<b>2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA</b> .....	21
<b>3. METODE ISTRAŽIVANJA</b> .....	22
3.1. Uzorak ispitanika.....	22
3.2. Uzorak varijabli .....	23
3.3. Plan istraživanja.....	24
3.4. Protokol mjerenja .....	25
3.4.1. Skok u vis prekoračnom tehnikom izvedbom s dominantne noge .....	26
3.4.2. Unilateralni dubinsko-daljinski skok izvedbom s dominantne noge .....	27
3.4.3. Unilateralna statička ravnoteža izvedbom s dominantnom nogom .....	28
3.5. Trenažni protokol .....	29
3.6. Metode obrade podataka.....	30

3.6.1. Izračunavanje kinetičkih i kinematičkih podataka .....	30
3.6.2. Statistička obrada podataka .....	31
<b>4. REZULTATI .....</b>	<b>32</b>
4.1. Deskriptivna statistika .....	32
4.2. Razlike između inicijalnog i završnog mjerenja 1 .....	35
4.3. Dvofaktorska analiza varijance na ponovljenim mjerenjima .....	38
<b>5. RASPRAVA .....</b>	<b>41</b>
5.1. Učinci bilateralnog i unilateralnog vježbanja na izvedbu skoka u vis .....	42
5.2. Učinci bilateralnog i unilateralnog vježbanja na živčano-mišićne funkcije .....	45
5.3. Testiranje hipoteza .....	54
5.4. Praktične preporuke .....	55
5.5. Prednosti i ograničenja istraživanja .....	55
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>57</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>59</b>
<b>8. ŽIVOTOPIS AUTORICE .....</b>	<b>75</b>
<b>9. ZNANSTVENI I STRUČNI RADOVI AUTORICE .....</b>	<b>76</b>

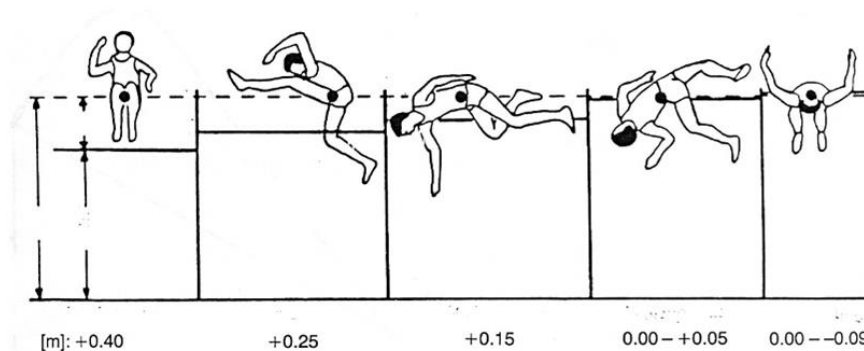
# 1. UVOD U PROBLEM

Atletika (eng. *track and field, athletics*) se zbog svoje sveobuhvatnosti naziva „kraljicom sporta”. Dijeli se na četiri osnovne grupacije disciplina: discipline hodanja i trčanja, skokova, bacanja te njihove kombinacije u obliku atletskog višeboja. Prema specifičnostima i strukturama kretanja može ih se podijeliti na dodatne podgrupacije. S obzirom na to da je tema ove disertacije povezana s disciplinom skoka u vis, treba spomenuti da skakačka grupacija disciplina obuhvaća: skok u dalj, skok s motkom, skok u vis i troskok. Atletika se pojavljuje u obliku školskog sporta, rekreativne atletike, amaterske i vrhunske atletike. Wrotniak, Epstein, Dorn, Jones i Kondilis (2007) navode da su trčanje i skakanje fundamentalne vještine za sudjelovanje u igri i sportu. Nadovezujući se na navedeno, važno je napomenuti da skokovi pripadaju prirodnim oblicima kretanja, odnosno biotičkim motoričkim znanjima, te ih djeca spontano i redovito primjenjuju u svakodnevnom životu.

## 1.1. Razvoj skoka u vis

Moderni skok u vis pojavio se u Njemačkoj u 18. stoljeću u okviru fizičke edukacije djece, a u 19. stoljeću u Engleskoj se razvio kao natjecateljski sport (Dapena, 2002). Povijesno gledajući, disciplina je prošla niz modifikacija pri razvoju efikasnosti tehnika (slika 1). Skok u vis za muškarce bio je na programu već prvih modernih olimpijskih igara 1896. godine u Ateni na kojima je pobijedio Ellery Clark, dok se skok u vis za žene na programu olimpijskih igara pojavio trideset i dvije godine kasnije, 1928. godine u Amsterdamu, a pobjedu je odnijela Ethel Catherwood. Od 1900. do 1912. godine na programu je bio i skok u vis s mjesta (eng. *standing high jump*), specijalnost Raya Ewryja. Danas se u natjecateljskoj seniorskoj atletici primjenjuje leđna (eng. *fousbory-flop*) tehnika, a prethodile su joj zgrčka (eng. *legs up*), prekoračna tehnika (eng. *scissors*), dvostruke škare (eng. *eastern cut off, sweeny*), zgrčna tehnika (eng. *horine, western roll*) i opkoračna tehnika (eng. *stradle*). Svaka od navedenih tehnika razlikuje se u načinu prelaska preko letvice, ali se svaka od njih strukturno sastoji od faze zaleta, faze odraza, faze leta i faze doskoka. Svakako je potrebno istaknuti skakače i skakačice koji su obilježili povijest, ali i sadašnjost, skoka u vis zbog aktualnih svjetskih rekorda: kubanski skakač Javier Sotomayor preskočio je 245 cm 1993. godine u Salamanci, a Bugarka Stefka Konstadinova preskočila je 209 cm na Svjetskom prvenstvu 1987. godine u Rimu. U novijoj povijesti i dalje nedostižnom svjetskom

rekordu za žene približila se upravo hrvatska skakačica u vis Blanka Vlašić koja je 31. kolovoza 2009. godine na mitingu IAAF Grand Prix u Zagrebu ostvarila drugi svjetski rezultat svih vremena s preskočenih 208 cm.



**Slika 1.** Odnos centra težišta tijela i letvice primjenom različitih skakačkih tehnika (Rainer Ballreich i Kuhlow, 1986)

## 1.2. Skok u vis prekoračnom tehnikom

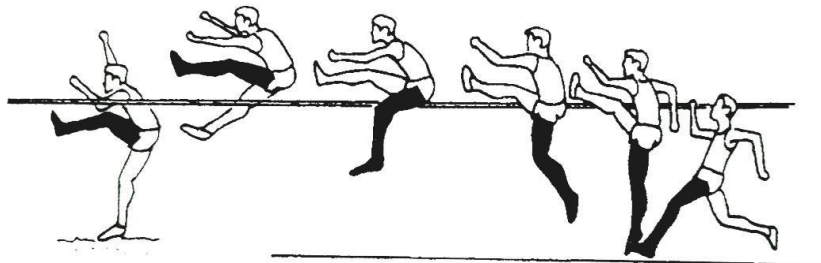
Skok uvis pripada grupaciji vertikalnih skokova, a cilj je horizontalno postavljenu letvicu preskočiti s pomoću jednonožnog odraza bez pomagala. Prekoračna tehnika, poznatija kao „škarice”, dio je plana i programa predmeta tjelesne i zdravstvene kulture te prevladava u radu s djecom mlađih dobnih kategorija zbog jednostavnije strukture kretanja. Prekoračna tehnika predstavlja dobar temelj za učenje povezivanja zaleta i odraza, a ujedno je dio trenažne i natjecateljske rutine vrhunskih skakača i skakačica.

Strukturalna analiza skoka u vis dijeli se na četiri osnovne faze:

- faza zaleta – prekoračna tehnika izvodi se zaletom pod kutom od  $45^\circ$  u odnosu na letvicu (zalet se trči ravno prema letvici). Cilj je zalet istrčati ritmično i na prednjem dijelu stopala. Optimalna dužina zaleta za početnike jest od pet do deset metara. Sugerira se da zadnji korak pri postavljanju noge za odraz bude kraći od prethodnih koraka. Ako se zalet izvodi polukružno, tada se dijeli na dvije potfaze: pravocrtno trčanje zaleta i trčanje zaleta po zavoju.

- faza odraza – odraz se izvodi vanjskom nogom u odnosu na letvicu. Stopalo odrazne noge postavlja se prema smjeru skakanja u 1/3 letvice. Odras se sastoji od faze amortizacije i opružanja noge uz istovremeno podizanje zamašne noge iznad razine letvice. Faza odraza traje dok stopalo odrazne noge ne napusti tlo.
- faza leta – započinje u trenutku kada odrazna noga napusti tlo i traje dok zamašna noga opet ne dotakne tlo. Letvicu prvo prelazi zamašna, a potom odrazna noga dok je tijelo u blagom pretklonu.
- faza doskoka – izvodi se na zamašnu nogu kojoj se priključuje odrazna uz korak do dva amortizacije te završava u uspravnom položaju. Iznimno, doskok može biti na obje noge istovremeno uz amortizaciju doskoka i održavanje ravnoteže.

Glavni cilj u skoku u vis jest da se težište tijela dovede u najvišu točku pri prelasku letvice. Prema dosadašnjim istraživanjima (McGinnis, 2013; Dapena i Flickin, 2006) upravo su faza zaleta i odraza ključne u podizanju težišta tijela preko letvice. McGinnis (2013) navodi da uspješan skok u vis prvenstveno ovisi o impulsu sile koja se generira kroz silu reakcije podloge sa svrhom što učinkovitije transformacije horizontalne u vertikalnu brzinu.



**Slika 2.** *Prekoračna tehnika skoka u vis (eng. scissor technique) (Müller, H., Ritzdorf, 2009)*



### **1.3. Metodika učenja skoka u vis prekoračnom tehnikom**

Skok u vis spada u prirodne oblike kretanja, posebno kada se želi preskočiti određeni predmet ili prirodne prepreke poput grane, zida, lokve i slično te je samim time primjeren za najmlađe. Osnovne vježbe vertikalne skočnosti mogu se primijeniti i u radu s djecom predškolske dobi. Osim natjecateljske izvedbe, gdje se potrebno zaletjeti, odraziti i preskočiti letvicu, postoji cijeli niz različitih metodskih vježbi u procesu usvajanja tehnike skoka u vis koje svojom dinamikom i zanimljivošću motiviraju djecu na izvođenje vertikalnog usmjerenog skoka s naglaskom na visinu. Prevladavajuća metoda učenja ove tehnike jest uglavnom sintetička, uz manji utjecaj analitičke. Pozornost se uglavnom usmjerava prema kvaliteti zaleta, postavljanju stopala pri odrazu i prelasku preko letvice.

#### **Metodske vježbe za učenje zaleta:**

- izvođenje vježbi atletske škole – pravocrtno
- izvođenje vježbi atletske škole u smjeru zaletišta
- trčanje dionica do 50 metara s postupnim ubrzanjem tempa trčanja.

#### **Metodske vježbe za učenje odraza:**

- jednonožni poskoci frontalno i lateralno
- indijanski poskoci
- aritmički visaški poskoci
- skokovi zgrčkom na strunjače i preko gume
- dohvatni skokovi – rukom, glavom, ramenom, laktom, koljenom
- dohvatni skokovi na skakalištu prema gumi postavljenoj na vrhu stalka
- skokovi s povišenja
- skokovi na povišenje
- svaki drugi korak odraz – skok preko prepone
- svaki četvrti korak odraz – skok preko prepone

#### **Metodske vježbe za prelazak preko letvice:**

- hodanjem prekoračiti preponu ili gumu
- trčanje sporijim tempom - koso, prekoračiti gumu

- iz kosog zaleta naskočiti zamašnom nogom na strunjaču uz podizanje odrazne noge.

*U procesu učenja savjetuje se:*

- zadatak opisati jasno i precizno
- demonstrirati zadatak
- pohvaliti dobru izvedbu ili dio koji je bio dobar u izvedbi
- uputiti na pogrešku (ako ih je više, izdvojiti jednu ili dvije osnovne)
- snimiti videozapis te ga analizirati

## **1.4. Motoričko učenje**

Pojam motoričkog učenja odnosi se na proces formiranja motoričkih vještina koje se mogu definirati kao naučena sposobnost postizanja određenih rezultata i vanjskih ciljeva s maksimalnom sigurnošću izvedbe te minimalnim utroškom energije i vremena (Jarvis, 1999). Iako se motoričko učenje može smatrati nezavisnim u odnosu na druge tipove učenja i rješavanja problema, formalno ono na konceptualnoj razini pripada kategoriji istih kognitivnih procesa – procesa učenja (Horga, 1993). Schmidt i Wrisberg (2000) motoričko učenje opisuju kao unutrašnji proces koji je u određenoj mjeri određen razinom motoričkih sposobnosti, a odražava individualni kapacitet za izvedbu određenog motoričkog zadatka koji se vježbanjem može poboljšati. Motoričko učenje sadrži razvojne kognitivne strukture, poznatije kao motoričke programe za procesiranje informacija. Ti procesi omogućavaju usporedbu u realnom vremenu putem motornog kontrolnog sustava zatvorene petlje ili kasnije putem sustava otvorene petlje, dobivenih rezultata, pokretanjem procesa prilagodbe i usavršavanja pokreta (Raiola, Tafuri i Paloma, 2014). U literaturi se još mogu pronaći nazivi poput „algoritam naredbi” ili „formiranje dinamičkih stereotipa”. Motorički program sadržava informacije o strukturi, trajanju i redoslijedu izvođenja pokreta te omogućuje procesuiranje podataka za vrijeme izvođenja zadatka. Barić (2006) navodi da je proces učenja i usavršavanja motoričke vještine postupan te da se postiže ponavljanjima, a razina svjesne kontrole motoričke aktivnosti i koncentriranost za izvedbu padaju s vremenom. Funkcioniranje i formiranje motoričkog programa, odnosno proces motoričkog učenja, može se opisati kroz različite teorijske pristupe. Teorija „zatvorene petlje“ (Adams, 1968) polazi od pretpostavke da su pokreti dovoljno spori kako bi se omogućila njihova korekcija, a temeljene

na povratnim informacijama. Odnosi se na informacije koje sudjeluju u kreiranju motoričkih odgovora, gdje razlikujemo trag u pamćenju i perceptivni trag. Što je duže trajanje izvršenja pokreta, to je veća mogućnost korištenja sustava kontrole pokreta. Trag u pamćenju obuhvaća informacije potrebne za iniciranje i usmjeravanje pokreta, na koji se nastavlja perceptivni trag, a sadrži informacije o tome kako bi pokret trebao izgledati (vizualne), potkrijepljen povratnim informacijama i kako bi ga osoba trebala osjećati (proprioceptivne), uz uvjet da je pokret izveden korektno. Dakle, radi se o mehanizmu koji procjenjuje adekvatnost ili točnost pokreta. Zatim, dolazi do analize razlika, odnosno komparacijskih procesa koji su određeni kognitivnom aktivacijom, a odnose se na razlike između idealnog (željenog) motoričkog programa i aktualne izvedbe (Glencross, 1993). U slučaju neslaganja, informacije iz centralnih struktura odlaze natrag u mišiće i pokret se korigira. Drugim riječima, ako se pokret izvodi brže od mogućnosti provedbe živčanih impulsa, tada pokret nije podložan korekciji zbog nemogućnosti procesiranja informacije (ispod 200 milisekundi), a prema teoriji kontrolnog sustava otvorene petlje (Schmidt, Young, 1987). Za razliku od zatvorene petlje, kontrolni sustav otvorene petlje ne koristi povratne informacije tijekom izvedbe. Jednom kad je motorički program pokrenut, upute se provode bez korekcije, odnosno nema modifikacija za vrijeme izvedbe. Ovaj sustav motorne kontrole najbolje funkcionira u stabilnim i predvidljivim uvjetima. Pokreti su brzi gdje je vrijeme za reakciju izrazito kratko (npr. udarac golf lopte, bacanje strelice u pikadu (Armitstead, 2019)). Schmidtova teorija (1975) tvrdi da vještine mogu biti pohranjene u obliku shema, stoga su prema toj teoriji informacije organizirane u sheme koje omogućuju odvijanje generaliziranog motoričkog programa: shemu prisjećanja i shemu prepoznavanja. Generalizirani motorički program podrazumijeva program koji može biti primijenjen preko različitih tjelesnih akcija, pokreta ili sportskih situacija. Primjerice, shema za sprint može biti primijenjena u atletici, ali i u košarci, nogometu, tenisu i sl. Nadalje, često se spominje i Fittsov model učenja (1967) koji se sastoji od triju faza: kognitivne faze, koja je najviše izražena u početnoj fazi učenja kad su aktivirani viši mentalni procesi zbog analize i razumijevanja zadatka; asocijativne faze, za koju je karakteristično usavršavanje vještine na temelju formiranog motoričkog stereotipa; te faze autonomije, koja podrazumijeva najvišu razinu usavršene motoričke vještine, koja je uslijedila nakon dugotrajnog ponavljanja i uvježbavanja pokreta. U skladu s time, u podlozi su motoričkog učenja kognitivni procesi, uz različite teorijske pristupe koji ga opisuju.

Barić (2006) navodi da je učenje prema obrascu najčešći model motoričkog učenja, osobito kod djece, što upućuje na pretpostavku da metoda demonstracije ima ključnu ulogu tijekom učenja motoričkog znanja. Milanović (2010) navodi da je najbolji način učenja strukture nekog gibanja i strukture situacija: razumijevanje postavljenih motoričkih zadataka, stvaranje pravilne predodžbe o načinu njihova izvođenja uz što veći broj ispravnih ponavljanja. Schmidt i Wrisberg (2008) navode da u procesu motoričkog učenja nijedno ponavljanje nikada nije isto, već se kvaliteta izvedbe stalno poboljšava uz primjenu dopunskih informacija te stalno ispravljanje motoričkih pogrešaka. Doyon i sur. (2009) navode da su od samih početaka motoričkog učenja dominirala istraživanja koja su se bavila samo neuronskom plastičnošću koja se javlja u fazi brzog učenja kad se poboljšavaju motoričke izvedbe. Devedesetih godina 20. stoljeća provedena su brojna istraživanja s pomoću pozitronske emisijske tomografije i funkcionalne magnetske rezonancije, a istraživao se učinak posredovanja plastičnosti mozga i promjene uočene tijekom ranog kodiranja motoričkog ponašanja. Studije su pokazale da striatum ima ključnu ulogu u kodiranju motoričkog programa (Doyon, Owen, Petrides, Sziklas, Evans, 1996; Grafton, Hazeltine, Ivry, 1995; Rauch i sur. 1995). Striatum je siva tvar koja se nalazi u supkortikalnom području mozga, a predstavlja zajednički naziv za bazalne ganglije. Bazalni gangliji čine važan dio neuronskih krugova jer sudjeluju u modulaciji brojnih procesa u motoričkom sustavu. Osim striatuma, moždane strukture koje također imaju važnu ulogu pri usvajanju motoričkih vještina jesu cerebelum i regije motornog korteksa frontalnog režnja.

Ovisno o fazi učenja motoričke vještine modulira se regionalna moždana aktivnost koja ovisi o regionalnom protoku krvi (eng. *regional blood flow*) (Dayan i Cohen, 2011). Veća aktivnost pojedine regije dovodi do povećanja razine prokrvljenosti u određenim kortikalnim dijelovima mozga, što rezultira većom količinom registriranih signala. U početnim fazama učenja u kojima dolazi do bržeg napretka (eng. *fast learning*) aktivnije su uključeni dorso-lateralni prefrontalni korteks, primarni motorički korteks i pre-suplementarno motoričko područje, čija aktivacija postupno opada s daljnjim procesom motoričkog učenja, a dolazi do aktivnijeg uključivanja pre-motornog korteksa, suplementarnog motoričkog područja, striatuma i malog mozga (Floyer-Lea i Matthews, 2005). Doyon, Penhune i Ungerleider (2003), Doyon i Ungerleider (2002) objašnjavaju model učenja motoričkih vještina na fiziološkoj razini koji se opisuje kroz plastičnost mozga tijekom učenja novog slijeda pokreta (učenje motoričke vještine) ili prilagodbe na okolinske perturbacije (motorička prilagodba). Pritom učenje motoričke vještine podrazumijeva stjecanje novih motoričkih

programa (promjene stupnja u napredovanju, promjene u koordinaciji pokreta), a motorička prilagodba podrazumijeva povratak postojeće vještine pri modificiranim uvjetima s ciljem odražavanja razine izvedbe. Prema modelu, u početnoj fazi učenja u paralelnoj su interakciji kortiko-striato-talamo-kortikalna petlja i kortiko-cerebelarno-talamo-kortikalna petlja za koje se pretpostavljalo da su ključne u procesu učenja novih motoričkih vještina. U fazi sporiјeg učenja (dobro naučene vještine) dolazi do veće aktivacije bazalnih ganglija (posebice globus palidusa i putamena) i donjeg parijetalnog režnja moždane kore. Što je određena motorička vještina više na razini automatizacije, te povezane motorno-kortikalne regije i živčani sustav koji uključuje striatum, ne uključujući cerebelum, mogu biti dovoljni za izvedbu i zadržavanje naučene motoričke vještine (Doyon, Penhune i Ungerleider, 2003). Kada se dobro naučeno motoričko ponašanje ponovno želi izvesti nakon dužeg vremena nevjebanja, model tvrdi da se ponovno aktiviraju isti kortiko-supkortikalni sustavi. Zanimljivo, pomak motoričke izvedbe od asocijativnog do područja senzomotoričkog striatuma može se vidjeti jedino kod učenja motoričkih sekvencija, dok se prijenos aktivnosti iz korteksa malog mozga do dubokih jezgara malog mozga može uočiti u kasnijim stupnjevima usvojenosti motoričke vještine.

## 1.5. Bilateralni transfer kao fiziološki fenomen

### 1.5.1. Terminologija

Miletić (2013) navodi da prethodna iskustva mogu imati dobrobiti, ali i deficite za proces motoričkog učenja, te da se tijekom života prikupljaju brojna motorička znanja koja mogu utjecati na pojedine kapacitete osobe za učenje, a taj fenomen, koji predstavlja jedno od najstarijih područja interesa u motoričkom učenju, naziva se transfer. Prema Edwardsu (2010), transfer motoričkog znanja podrazumijeva utjecaj uvježbavanja jednog motoričkog znanja na usvajanje drugog motoričkog znanja ili utjecaj uvježbavanja jednog motoričkog znanja na usvajanje i izvedbu tog istog znanja, ali u drugačijim okolnostima. Transfer znanja najčešće je pozitivan, ali može biti i negativan ili nulti. Osim transfera koji su uobičajeni, a temelje na sličnosti pojedinih elemenata ili sličnosti u strategiji učenja, postoji i bilateralni transfer znanja (eng. *bilateral transfer*). U literaturi se osim termina bilateralni transfer upotrebljavaju i drugi termini: ukrižena edukacija (eng. *cross-education*), ukriženo vježbanje (eng. *cross exercise*), ukriženi trening (eng. *cross training*), interlimbički prijenos (eng. *interlimb transfer*) ili ukriženi transfer (eng. *cross transfer*). Učinci bilateralnog transfera znanja nazivaju se kontralateralni učinci (eng. *contralateral effects*), a također se upotrebljavaju termini poput ukriženi trenažni učinci (eng. *cross training effects*), ukriženi prijenos učinaka (eng. *cross transfer effects*) ili učinak ukrižene edukacije (eng. *cross education effect*). Maca i sur. (2021) tvrde da se najčešće upotrebljava termin ukrižena edukacija. Autori su u svojem istraživanju ujedno pokušali definirati relevantne teme ovog fenomena. Primjenjujući „Delphi konsenzus” utvrdili su da se najveći postotak stručnjaka (80 %) slaže s terminom ukrižene edukacije, ali uz naglasak na svrhu transfera jakosti ili motoričke vještine, stoga će se u nastavku ovog rada upotrebljavati preporučeni termin. Ukrižena edukacija predstavlja prijenos učinaka gdje se unilateralnim treningom ekstremiteta stvaraju kontralateralni učinci kao dio motoričkih zadataka koji zahtijevaju jakost ili vještinu, odnosno povećava se „motorički izlaz” netreniranog ekstremiteta (Paillard, 2020). Međutim, iako je bilo poteškoća oko konsenzusa u vezi s definicijom „ukrižene edukacije”, stručnjaci su se ipak uspjeli složiti da se u definiciji upotrebljava termin „homologni mišić” u smislu efekata koji se događaju u kontralateralnom ekstremitetu (Manca i sur., 2021). Prema tome, poboljšanje motoričkog izlaza utječe samo na homologne mišiće u kontralateralnom ekstremitetu i javlja se tijekom treninga mišićne jakosti ili učenja motoričkih vještina (Frazer i sur., 2018). Smjer prijenosa znanja može se dogoditi s dominantne strane na nedominantnu

stranu (Shadmehr, Criscimagna-Hemminger, Donchin i Gazzaniga, 2010) i s nedominantne strane na dominantnu stranu (Hicks, 1974), ili u oba smjera (Van Mier i Petersen, 2006).

### 1.5.2. Teorijski modeli prijenosa

Fenomen kontralateralnih učinaka uočen je još davne 1894. godine, a naredna istraživanja slažu se s postojanjem fenomena ukrižene edukacije u kontekstu koji uključuje voljnu, ideomotoričku i elektro-stimulacijsku kontrakciju (Lee i Carroll, 2007). Studije ukrižene edukacije vještina pokazale su ukriženi prijenos učinaka pod utjecajem ipsilateralnog treninga povezanog s neuralnim prilagodbama na kortikalnim, supkortikalnim, spinalnim i segmentalnim razinama (Carroll, Herbert, Munn, Lee, Gandevia, 2006; Hortobagay, Scott, Lambert, Hamilton i Tracy; 1999, Issurin, 2014; Pearce, Hendy, Bowen i Kidgell., 2013; Zhou, 2000). No unatoč brojnim istraživanjima, autori nisu u potpunosti usuglašeni o potencijalnim mehanizmima djelovanja, ali postoje hipoteze koje se primjenjuju u objašnjenjima i nekoliko modela. Prema Lee i Carroll (2007) prva hipoteza nalaže da se na kontralateralnom ekstremitetu koji se nije trenirao projiciraju učinkovitosti motoričkih puteva kao posljedica modifikacije tijekom vremena, a izazvano unilateralnim treningom s opterećenjem (eng. *resistance training*). Navedeno može voditi prema adaptaciji motoričkih putova (povećanje kapaciteta) netreniranih mišića, a samim time i rezultirati povećanjem mišićne jakosti. Količina spinalnih i kortikalnih sklopova koji potvrđuju potencijal spomenutih adaptacija i dalje se razmatra.

Druga hipoteza nalaže da se unilateralnim treningom jakosti mogu izazvati adaptacije motoričkih putova koji su prvenstveno aktivni u kontroli pokreta treniranog ekstremiteta. Tijekom maksimalne voljne mišićne kontrakcije dolazi do adaptacije motoričkih sklopova netreniranog ekstremiteta na način sličan motoričkom učenju. Zatim Lee, Hinder, Gandevia i Carroll (2010) sve dosadašnje hipoteze sumiraju i dijele ih u dvije kategorije; prvu koja nalaže da učinkovitim transferu prethodi unaprijeđena motorička izvedba koja nastaje kao rezultat treningom potaknutih motoričkih programa ipsilateralnog ekstremiteta. S gledišta motoričke kontrole, nastavljaju autori, stečeni motorički programi koji se najvjerojatnije smještaju u centralnom živčanom sustavu (CŽS) dostupni su i kontralateralnom ekstremitetu. Nadalje, autori pretpostavljaju da je nedominantnoj moždanoj polutki preko žuljevitog tijela dostupan motorički program koji se nalazi u dominantnoj moždanoj polutki. Druga sumirana kategorija

hipoteza temelji se na opservaciji da brojni unilateralni zadaci uzrokuju kortikalnu aktivnost ipsilateralno i kontralateralno s obzirom na trenirani ekstremitet. Bez obzira na to izvodi li se pokret na svjesnoj (voljna aktivacija) ili nesvjesnoj (nevoljna aktivacija) razini, živčano-mišićna kontrola najvećim je dijelom automatska, odnosno, mišićna aktivacija uglavnom je regulirana refleksnim mehanizmima (Kosinac, 2011). Kada se govori o refleksnim mehanizmima i kontralateralnim učincima, zanimljivo je saznanje djelovanja ukriženog ekstenzornog refleksa (eng. *cross extensor reflex*). Primjerice, iako je podražaj izazvao fleksorni refleks u jednom ekstremitetu, počinje se ekstenzirati suprotni ekstremitet, gdje signali osjetnih živaca prelaze u moždini na suprotnu stranu i podražuju ekstenzorne mišiće (Guyton i Hall, 2012). Othman i sur. (2019) potvrđuju da su istraživanja ukrižene edukacije opsežno provedena uglavnom na odraslima te navode da kod odraslih dolazi do asimetričnih prilagodbi kontralateralnog transfera, i to uglavnom nakon treninga dominantnog ekstremiteta. Jedno od rijetkih istraživanja ukrižene edukacije provedeno je s djecom u dobi od deset do trinaest godina; Othman, Behm i Chaouachi (2018) zaključuju kako se napredak u mišićnoj jakosti u kontralateralnim i ipsilateralnim ekstremitetima događa najviše zbog adaptacija središnjeg živčanog sustava u odnosu na odrasle. Rano kontralateralno povećanje mišićne jakosti obično nije povezano s povećanim opsegom ekstremiteta ili enzimskom aktivnošću (Hortobágyi i sur., 1985; Moritani i de Vries, 1979). No zbog rijetkih studija koje se bave tom problematikom postoji potreba da se i dalje ispituju pouzdanost i valjanost tih nalaza (Halperin, Vigotsky, Foster, Pyne, 2017).

Uggetti i sur. (2016) navode tri glavna modela koja objašnjavaju ukriženu edukaciju. Prvi model predlaže da se motorička sposobnost generira u dominantnoj hemisferi, a zatim dolazi do suprotne kroz korpusni kalozum kako bi se olakšalo izvršavanje zadataka s nedominantnim ekstremitetom. Drugi je model vještine; motorički programi stvaraju se i pohranjuju u suprotnoj hemisferi od ruke koja se trenira. Treća je takozvana hipoteza o ukriženoj aktivaciji koja se temelji na dokazima da izvođenje ponavljajućeg jednostranog zadatka generira kortikalnu aktivnost i kontralateralnu i ipsilateralnu za trenirani ekstremitet (Anguera, Russell, Noll i Seidler, 2007). U istraživanju Manca i sur. (2021) pokušala su se definirati dva najčešća teorijska modela koja se upotrebljavaju u objašnjavanju prijenosa jakosti i vještine, ali odvojeno „dvostrani pristup“ (Taylor i Heilmann, 1980) i „ukrižena aktivacija“ (Parlow i Kinsbourne, 1989). Stručnjaci različitih područja složili su se (77 %) da se u pogledu prijenosa vještina primjenjuju oba navedena modela. Dogovor stručnjaka (61 %) postignut je i oko zrcalnog neurona koji doprinosi prijenosu vještina, ali ne i jakosti. Model



„ukrižene aktivacije” navodi da bilateralna kortikalna aktivnost izazvana unilateralnim vježbanjem dovodi do istovremene živčane adaptacije u obje moždane hemisfere (Ruddy i Carson, 2013). Isti autori navode da unilateralno vježbanje dovodi do oslabljene zastupljenosti pokreta u hemisferi koja normalno kontrolira mišiće suprotnog ekstremiteta. Suprotno tome, model „dvostranog pristupa” navodi da se motorički programi nastali tijekom unilateralnog vježbanja uspostavljaju ili u središnjim dijelovima mozga, koji su odgovorni za obje strane, ili su uspostavljeni na odgovornoj hemisferi, ali su dostupni kalozumskim transferom, što omogućuje pristup motoričkim programima tijekom pokreta netreniranim ekstremitetom (Ruddy i Carson, 2013). Iz svega navedenoga može se zaključiti da mehanizmi djelovanja još nisu utemeljeni.

Sve je veći interes za ukriženom edukacijom u području rehabilitacije (tablica 1), posebno kod imobiliziranog ekstremiteta, a čak i kod neuroloških poremećaja poput moždanog udara (Dragert i Zehr, 2013; Urbin, Harris-Love i Carter, Lang, 2015) i multiple skleroze (Manca i sur., 2016). Međutim, postoji neslaganje stručnjaka oko takvog pristupa liječenju jer i dalje nema jasnih standarda o primjeni tog fenomena u kliničkom djelovanju. U tablici 1 prikazana su istraživanja koja se bave ukriženom edukacijom u svrhu rehabilitacije imobiliziranog ekstremiteta, u ovom slučaju ruke. Ishodi autora (Farthing, Krentz i Magnus 2009; Magnus, Barss, Lanovaz i Farthing, 2010; Farthing i sur., 2011; Pearce i sur., 2013, Andrushko, Lanovaz, Bjorkman, Kontulainen i Farthing, 2018) odnose se na benefite imobiliziranog ekstremiteta tijekom razdoblja treninga jakosti slobodnog ekstremiteta. Pritom su najrelevantnija otkrića zadržavanje jakosti i veličine imobiliziranog kontralateralnog homolognog mišića. Važno je napomenuti da su sva navedena istraživanja u tablici 1 provedena nad zdravim ispitanicima te postoji potreba za daljnjim istraživanjima u kliničkoj populaciji.

**Tablica 1. Ukrižena edukacija u istraživanjima rehabilitacije (prema Andrushko, Gould i Farthing, 2018)**

Istraživanje	N	Imobilizacija		Trening		Mjerenje	Metoda	Imobilizirani ekstremitet				Ne-imobilizirani ekstremitet			
		Trajanje (tjedni)	Vrsta	Vrsta/Tip	Frekv. (dana u tjednu)			T (%)	ES	C (%)	ES	T (%)	ES	C (%)	ES
Farthing i sur. (2009)	T = 10	3	Wrist and hand cast	Maksimalna izometrička ularna devijacija	5	Jakost	Ulnarna devijacija	2,2**	0,07	-14,70	0,6	23,8**	0,7	-5,8**	0,2
	C = 10							-1,1**	0,1	-4,30	0,3	2,9**	0,2	-1,1**	0,1
Magnus i sur. (2010)	T = 8	4	Arm sling	Maksimalna izometrija fleksije u zglobu lakta i ekstenzija	3	Jakost	Fleksija u zglobu lakta	7,7**	0,3	4,0**	0,1	18,9**	0,7	-1,6	0,04
	C = 8							32,2**	0,6	-6,1	0,1	68,1**	1,1	4,7	0,1
Farthing i sur. (2011)	T = 7	3	Wrist and hand cast	Maksimalna izometrija sitska šake	5	Jakost	Izometrični MVC	0,8**	0,1	-11	0,7	10,7**	0,3	4,1	0,2
	C = 7							-4,7	1,1	-1,7	0,4	-0,5	0,2	0,8	0,2
Pearce i sur. (2013)	T = 9	3	Arm sling	80% 1 RM fleksije u zglobu lakta	3	Jakost	Izometrični MVC	2,7**	0,5	-5,7	1,2	5,8**	1,1	0,2	0,05
	C = 9							-0,1**	0,3	-19,9	1,4	13,9**	0,7	-4,2	0,2
Andrushko i sur. (2018)	T = 8	4	Wrist and hand cast	Ekscentrično izokinetička fleksija ručnog zgloba	3	Jakost ručnog zgloba u fleksiji	Ekscentrična kontrakcija MVC	-1,3**	0,04	-15,7	0,4	35,7**	0,7	-7,0	0,2
	C = 8							0*	0	-6,0	1,1	6,1**	0,5	-2,8	0,5
Andrushko i sur. (2018)	T = 8	4	Wrist and hand cast	Ekscentrično izokinetička fleksija ručnog zgloba	3	Jakost ručnog zgloba u ekstenziji	Izometrični MVC	-4,0**	0,1	-25,3	0,6	32,5**	0,7	-8,5	0,2
	C = 8							1,1**	0,03	-25,6	0,6	22,0**	0,5	-5,9	0,1
Andrushko i sur. (2018)	T = 8	4	Wrist and hand cast	Ekscentrično izokinetička fleksija ručnog zgloba	3	Jakost ručnog zgloba u ekstenziji	Ekscentrična kontrakcija MVC-a	-7,4	0,3	-14,5	0,6	4,6	0,2	-4,3	0,2
	C = 8							-14,5	0,6	-12,7	0,6	2,9	0,1	-1,4	0,1
Andrushko i sur. (2018)	T = 8	4	Wrist and hand cast	Ekscentrično izokinetička fleksija ručnog zgloba	3	Jakost ručnog zgloba u ekstenziji	Koncentrični MVC	-11,8	0,4	-17,9	0,9	7,3	0,3	-3,2	0,1
	C = 8							1,4**	0,06	-2,7	0,1	1	0,06	1	0,05
Andrushko i sur. (2018)	T = 8	4	Wrist and hand cast	Ekscentrično izokinetička fleksija ručnog zgloba	3	Jakost ručnog zgloba u ekstenziji	Podlaktica MCSA	3,0**	0,2	-3,4	0,2	6,9**	0,5	-2,9	0,2
	C = 8							4,8	0,3	-2,9	0,2	2,7	0,1	15	0,3

**Legenda:** u svim istraživanjima imobilizacija je bila na lijevoj ruci, a trening se provodio desnom rukom. **ES** – veličina učinka (eng. *effect size*), **1 RM** – 1 ponavljanje od maksimuma, **C** – imobilizirana kontrolna skupina, **MT** – debljina mišića (eng. *muscles thickness*), **MVC** – maksimalna voljna kontrakcija, **T** – imobilizirana trenažna skupina, \*značajni učinak interakcije između trenažne i kontrolne skupine

### 1.5.3. Primjena dominantnih i nedominantnih ekstremiteta

Tijekom života ljudi imaju preferencije pri korištenju jedne strane tijela za neovisne zadatke kao aspekt motoričke kontrole (Promsri, Haid, Werner i Federolf, 2020). Strana tijela koju osoba preferira pri izvršavanju motoričkih ili svakodnevnih zadataka naziva se dominantnom. Taj fenomen odražava se bilateralnom asimetrijom u krugu motoričke kontrole između desne i lijeve hemisfere mozga, a promatrano kod donjih i gornjih ekstremiteta (Sainburg, 2005; Kapreli i sur., 2006). Kod gornjih ekstremiteta razlikuju se dva fenomena: „ručnost”, u smislu dominacije gornjeg ekstremiteta koji se obično definira kao sposobnost pisanja, i „rukovanje”, u smislu djelovanja i baratanja lijevom ili desnom rukom u različitim situacijama, što se često pripisuje različitoj specijalizaciji u sustavu neuronske kontrole (Promsri i sur., 2020). Pojedina istraživanja navode da je dominantni sustav specijaliziran za kontrolu putanje udova ili prediktivnu kontrolu, dok se nedominantni specijalizirao za kontrolu položaja udova ili kontrolu impedancije (Sainburg, 2005; Schaffer i Sainburg, 2017; Yadav i Sainburg, 2014). Zatim, neki autori proučavaju interlimbičke razlike u strategijama kontrole upravljanja ekstremitetima (Reuter, Cunnington, Mattingley, Riek i Carroll 2016; Stockinger, Thürer, Focke, Stein, 2015). Uggetti i sur. (2016) istraživali su je li ukrižena edukacija povezana s određenim obrascem aktivacije mozga s pomoću funkcionalne magnetske rezonancije. Uzorak ispitanika bio je podvrgnut istom motoričkom zadatku u dvama ciklusima. Zadatak se izvodio s nedominantnom rukom, između dvaju ciklusa proveo se intenzivan trening u trajanju od pet minuta s dominantnom rukom svakog ispitanika. Uspoređujući dva funkcionalna snimanja na skupu ispitanika, primijećena je promjena u motoričkoj aktivaciji. Konkretno, u drugom ciklusu primijećena je promjena u načinu aktiviranja u malom mozgu i u moždanom korteksu. Pronašli su aktivacije u kortikalnim područjima koja su uključena u somatosenzornu integraciju i područjima uključenima u proceduralno pamćenje.

Donji ekstremiteti imaju funkciju podupiranja tjelesne težine i izvođenja kretanja, što zahtijeva učinkovitu koordinaciju između nogu. Nekoliko studija navodi da se dominantna noga razlikuje između dinamičkih zadataka, primjerice šutiranja lopte, ili statičnih zadataka poput održavanja ravnoteže (Velotta, Weyer, Ramirez, Winstead i Bahamonde, 2011; Huurnink, Fransz, Kingma, Hupperets i van Dieën, 2014; Tran i Voracek, 2016; van Melick, Meddeler, Hoogeboom, Nijhuis-van der Sanden, van Cingel, 2017; Promsri, Haid i Federolf, 2018). Dominacija nogu odražava preferencijalnu upotrebu jedne noge nad drugom i obično

se pripisuje asimetrijama u neuronskom krugu (eng. *neural circuitry*). Promsri i sur. (2020) u svojem istraživanju navode da se otkrivanje učinaka dominacije nogu, posebno na motoričko ponašanje tijekom izvođenja vježbi balansiranja, pokazalo teškim. Učinci ukrižene edukacije manje su ispitivani u populaciji djece u odnosu na odrasle, a posebno slabo u području donjih ekstremiteta. Novi sadržaji koji se uvježbavaju s jednom rukom mogu olakšati izvedbu netreniranom rukom u istom zadatku. McManus (2004) navodi da se preferirana (dominantna) strana tijela za izvedbu vještina može odrediti kod djece od četvrte godine.

## **1.6. Bilateralna integracija**

Učenje motoričkih vještina povezano je s dubokim promjenama u obrascima aktivacije mozga tijekom vremena (Coynel i sur., 2010). Iveković (2013) navodi da razvoj svjesnosti tijela omogućava bilateralnu koordinaciju. Razvoj bilateralne motoričke koordinacije započinje u ranom djetinjstvu te predstavlja temelj za budući motorički razvoj (Berk i DeGangi, 1983). Williams (1983) bilateralnu koordinaciju definira kao sposobnost primjene obje strane tijela u integriranom i vještom upravljanju. U tom procesu dijete uči upotrebljavati obje strane tijela simetrično. Bilateralna integracija neurološka je funkcija važna za razvoj bilateralne koordinacije i vještina ponašanja (Fazlioglu i Gunsen, 2011). Proces integracije vestibularnih i proprioceptivnih osjeta i učinkovitost međuhemisfernih veza podloga su za dobru bilateralnu integraciju obje strane tijela (Ayres, 1972).

Sposobnost da se obje strane tijela primjenjuju jednako dobro naziva se ambidekstrija, a razlika između njih definira se kao asimetrija (Lovrić, 2016). Osim u prostoru učenja motoričkih znanja, simetričnost se uočava u prostoru rehabilitacije i kondicijske pripreme. Jedan od važnijih kriterija povratka sportaša ili osoba koje nisu u procesu treninga nakon ozljede ekstremiteta u redoviti trenažni proces, ali i u ostale svakodnevne životne aktivnosti jest dosezanje jednake jakosti ozlijeđenog ekstremiteta naspram neozlijeđenog, odnosno da se dosegne simetričnost (Avinah Bhise i Kishor Patil, 2016). Prema tome, simetričnost se osim u jakosti može procjenjivati u prostoru mišićne izdržljivosti, snage, amplitude pokreta, motoričke kontrole i dr. Iste autorice navode da oba moždana područja funkcioniraju normalno te se od njih zahtijeva da zajedno djeluju na širokom spektru zadataka. Prema Ziheng i Faro (2004; str. 179–188) primjena bilateralnog treninga u učenju sportskih vještina ima sljedeće značajke: bilateralni trening može sačuvati vrijeme uvježbavanja, te da

uvježbavanje vještina objiju strana tijela može voditi boljem razumijevanju vještina. Isti autori također navode da se razumijevanjem mehanizama bilateralnog transfera može objasniti događa li se i/ili kako transfer u učenju složenih pokreta i može li se i/ili kako transfer poboljšati treningom te da bi se razumijevanjem bilateralnog transfera učenja sportskih vještina trebala poboljšati učinkovitost učenja specifičnih sportskih vještina, s čime je usko povezana i bit ovog istraživanja. Jedna od istaknutijih vježbi koja razvija bilateralnu koordinaciju jest puzanje. Kada dijete puže, ruke i noge su u koordinaciji te se koristi objema polutkama mozga. Ti koordinacijski pokreti potiču razvoj bilateralne koordinacije, razvoj taktilnih, vestibularnih i propioceptivnih osjeta te motoričkog planiranja (Fazlioglu i Gunsen, 2011). Teixeira i sur. (2003) bavili su se redukcijom lateralne asimetrije. Autori navode rezultate koji ukazuju na to da uključivanje obje strane tijela tijekom vježbanja može imati ulogu u modifikaciji bilateralnih deficita, odnosno lateralnih asimetrija koje su uspostavljene kao posljedica jednostranog treninga. Marinsek (2016) u svojem istraživanju zaključuje da je u ranoj fazi stjecanja vještina driblinga unilateralno vježbanje najučinkovitiji način učenja. Smatra da je bilateralno vježbanje nadogradnja i da predstavlja složenije radnje u motoričkom učenju, stoga je važno razumijevanje dinamike sustava kod pojedinca. Svako dijete ima jedinstveni organizam i okolinske faktore te učinci vježbanja mogu biti različiti za svako dijete.

## **1.7. Kontralateralni učinci nakon treninga jakosti i motoričkog učenja**

Fenomen ukrižene edukacije istražuje područje motoričkog učenja i područje vježbi za razvoj mišićne jakosti (sportsko i rehabilitacijsko vježbanje). Prva ozbiljnija istraživanja o kontralateralnim učincima nakon treninga jakosti započeli su Hellebrandt, Parrish i Houtz (1947). Ustanovili su da je kod mišića ekstenzora koljena i mišića fleksora lakta došlo do povećanja kontralateralne jakosti nakon pet trenažnih dana u izoinercijskom sustavu. Nakon niza istraživanja o fenomenu ukrižene edukacije Carroll i sur. (2006) provode metaanalizu o kontralateralnim učincima treninga jakosti. Autori su utvrdili da se nakon trenažne intervencije unilateralnog treninga jakosti u trajanju između četiri do dvanaest tjedana (15 – 48 trenažnih jedinica, intenzitet 55 – 100 % od maksimuma) mogu izazvati prosječni učinci ukrižene edukacije od 7,6 %. Lee i Carroll (2007) navode da su učinci ukrižene edukacije jakosti vidljivi neovisno o tome trenira li se dinamički ili izometričkom kontrakcijom mišića (ipsilateralne voljne kontrakcije). Autori Cabric i Apell (1987) uspjeli su utvrditi

kontralateralne učinke stimuliranim kontrakcijama *m. triceps surae* tijekom dvadeset i jednog dana. Učinak homolognog mišića netreniranog ekstremiteta rezultirao je poboljšanjem za 39,7 % (50 Hz) ili 32,2 % (200 Hz). Ideomotoričkom metodom, odnosno zamišljenim kontrakcijama mišića, bavili su se autori Yue i Cole (1992), Herbert, Dean i Gandevia (1998) te Farthing, Chilibeck, Binsted, Sarty (2007) koji su došli do oprečnih rezultata kontralateralnih učinaka, no treba uzeti u obzir da su trenažne intervencije navedenih istraživanja provedene na različitim mišićima. Utvrđeno je i da se kontralateralni učinci javljaju kod žena i muškaraca (Hubal i sur., 2005). Teixeira i sur. (2003) promatrali su kontralateralne učinke kroz područje lateralne asimetrije te su zaključili da se uporabom nedominantnog ekstremiteta mogu smanjiti lateralne asimetrije pri brzini izvođenja driblinga. Istraživanja su također pokazala da čak i redoslijed vježbanja, odnosno početak vježbanja s dominantnim ili nedominantnim ekstremitetom, može znatno utjecati na rezultat te se i to istraživanje dizajniralo na temelju preporuka znanstvenih studija. Senff i Weigelt (2011) te Stöckel, Weigelta i Kruga (2011) navode da su učinci prijenosa veći ako vježbanje motoričke vještine započne nedominantnim ekstremitetom. Othman i sur. (2020) pokušali su utvrditi mogu li se uslijed unilateralnog treninga izazvati globalni učinci fenomenom ukrižene edukacije, no njihovi rezultati ukazali su na specifične ipsilateralne i kontralateralne adaptacije donjih ili gornjih ekstremiteta bez globalnih učinaka. Takvi rezultati istraživanja slični su nalazima Othmana i sur. (2019), a u kontraindikaciji su s rezultatima Othmana i sur. (2018).

Nalazi prezentiranih istraživanja mogu se svesti na sljedeće:

- smjer prijenosa motoričkih znanja može se dogoditi s dominantne na nedominantnu stranu, s nedominantne na dominantnu stranu ili u oba smjera.
- autori nisu u potpunosti usuglašeni o potencijalnim mehanizmima djelovanja, ali postoje hipoteze i modeli koji se upotrebljavaju u objašnjenjima (detaljnije su opisani u prethodnim poglavljima).
- istraživanja o ukriženoj edukaciji opsežno su provedena uglavnom na odraslima, a Othman i sur. (2018, 2019 i 2020), jedni od rijetkih autora koji se bave istraživanjima ukrižene edukacije provedenima nad djecom, zaključuju da se napredak u mišićnoj jakosti u kontralateralnim i ipsilateralnim ekstremitetima događa najviše zbog adaptacija središnjeg živčanog sustava djece u odnosu na odrasle.

- primjena bilateralnog treninga u učenju sportskih vještina vidi se u kontekstu; da bilateralni trening može sačuvati vrijeme uvježbavanja, te da uvježbavanje vještina objiju strana tijela može voditi boljem razumijevanju vještina.
- razumijevanjem mehanizama bilateralnog transfera može objasniti događa li se i/ili kako transfer u učenju složenih pokreta i može li se i/ili kako transfer poboljšati treningom.
- redoslijed vježbanja, odnosno početak vježbanja s dominantnim ili nedominantnim ekstremitetom, može značajno utjecati na rezultat.
- učinci prijenosa jakosti trebali bi se vidjeti nakon između trinaest do osamnaest trenažnih jedinica (triput tjedno), dok za prijenos vještina nema usuglašenog odgovora.
- za povećanje prijenosa najčešće se primjenjuju strategije povećanja trenažnog intenziteta, a zatim zrcalne iluzije i ekscentrične akcije.
- kontralateralni učinci javljaju se neovisno o spolu.

Tijekom pisanja ove doktorske disertacije u dostupnoj literaturi uočeno je da su se istraživanja u području transfera jakosti i vještina provodila uglavnom na uzorku koji su činili odrasli, da su promatrani lokaliteti većinom bili gornji ekstremiteti te se uočio manjak istraživanja u području bilateralne integracije kod jednostranih sportova ili disciplina. Postoje, dakle, mogućnosti za daljnja istraživanja u području ukrižene edukacije i bilateralne integracije koja bi se provela nad donjim ekstremitetima, osobito kod djece. Pritom se javlja potreba za daljnjim istraživanjem metodičkih pristupa u treningu kod jednostranih sportova ili disciplina radi kvalitetnijeg motoričkog, funkcionalnog i zdravstvenog razvoja djeteta. U najnovijoj studiji Manca i sur. (2021) nije došlo do konsenzusa u pogledu efekata prijenosa vještina, odnosno u pogledu ekstenzitetu opterećenja (broj trenažnih jedinica) koji je potreban kako bi se uočili učinci prijenosa, stoga i to predstavlja prostor za neka buduća istraživanja.

## 1.8. Problem istraživanja

Službena natjecanja skoka u vis provode se u skladu s važećim atletskim pravilima s ciljem preskakanja letvice na što većoj visini. Isti princip natjecanja primjenjuje se i kod djece najmlađe dobi. Takav sustav dovodi do toga da dijete u vrlo ranoj dobi određuje odraznu nogu i uglavnom istu nogu opterećuje tijekom natjecanja, ali i procesa treninga. Tijekom procesa motoričkog učenja prekoračne tehnike skoka u vis treneri s djecom primarno uvježbavaju zalet i odraz jednom stranom tijela (dominantom, tj. odraznom nogom). Oblik treninga koji se izvodi sa samo jednom stranom tijela sigurno dovodi do neujednačenog fizičkog opterećenja dominantne strane tijela već od najmlađih dobnih kategorija i vodi u preranu specijalizaciju. Nadalje, uvježbavanje motoričkih zadataka sa samo dominantnom stranom tijela može utjecati na pojavnost lateralnih asimetrija, što potvrđuju brojna istraživanja u različitim sportovima gdje je dominantan ekstremitet uglavnom prekomjerno razvijen (Castanharo i sur., 2011, Cuckova i Suss, 2014). Situacijsko-specifične akcije ne samo s dominantnom, već i s nedominantnom stranom tijela iznimno su važne u mnogim sportovima poput košarke, nogometa, rukometa ili odbojke (Grouis, Kiodou, Tsorbatzoudis i Alexandris, 2002). Neočekivani dribling, finta, šut ili udarac nedominantnim ekstremitetom može predstavljati prednost u ključnom trenutku. Lateralna asimetrija podrazumijeva nejednak razvoj mišićnih skupina, a time se svakako povećava rizik od ozbiljnijeg i učestalijeg ozljeđivanja. Višestrani pristup jedno je od najvažnijih načela treninga za djecu i mladež prema zagovaranju Bompe (2005) koji ujedno navodi da višestrani program treninga usmjeren na cjelokupni sportski razvoj, zajedno sa stjecanjem vještina i strategija određenog sporta, vodi uspješnijoj izvedbi u idućim razinama razvoja. Preporuke su da se jednostranost „povećava” s godinama (Coren, Porac i Duncan, 1981), posebno u kasnijem djetinjstvu i adolescenciji. Istraživanja Impellizzeri, Rampinini, Maffiuletti i Marcora (2007) i Croisier, Ganteaume, Binet, Genty i Ferret (2008) navode da asimetrija u snazi implicira ozljede donjih ekstremiteta. Istraživanja potvrđuju da su kod skakačkih disciplina najučestaliji lokaliteti ozljeđivanja donji ekstremiteti (D'Souza, 1994; Antekolović, Ljubičić i Baković, 2014), kod kojih se prema vrsti ozljeda prema Antekoloviću i sur. (2014) ističu distorzija gležnja, a slijede sindrom prenaprezanja, frakture, uklještenje živaca, rupture i istegnuća mišića. Sinclair i sur. (2014) upućuju na to da bi se programi treninga trebali usredotočiti na jednostrani trening (dominantne i nedominantne noge) kako bi se ispravile asimetrije i povećale performanse tijekom ponavljajućih jednostranih radnji tijekom natjecanja.



Benefiti bilateralnog vježbanja prikazani su u nekoliko studija (Marinsek, 2016; Teixeira i sur., 2003; Ziheng i Faro, 2004, str. 179.–188.). Međutim, većina navedenih istraživanja usmjerena je gornjim ekstremitetima, i to uglavnom u sportskim igrama. Vrlo su rijetka istraživanja koja se bave tom problematikom i kod nas i u svijetu, stoga je to istraživanje iznimno važno s praktičnog i znanstvenog aspekta jer će rezultati pokazati transformacije u živčano-mišićnoj funkciji koje će omogućiti da se na znanstvenim temeljima planira i programira rad s djecom i mladim sportašima. S praktičnog stajališta, trenerima i svim ostalim stručnjacima koji rade u sportu omogućit će se nova saznanja o važnosti jednake manipulacije s obje strane tijela. Osim simetričnog razvoja muskulature i lokomotornog sustava uporabom obje strana tijela očekuje se i razvoj koordinacije tijela u prostoru, što u budućnosti može olakšati usvajanje novih i složenijih motoričkih znanja. Uvježbavanjem skoka u vis prekoračnom tehnikom s dominantne i nedominantne odrazne noge smanjit će opterećenje jedne strane tijela za isti učinak te će se time trenerima ukazati na prednosti bilateralnog treninga djece rane i srednje školske dobi.

## 2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Osnovni cilj ovog istraživačkog rada jest utvrditi razlike u učincima bilateralnog i unilateralnog vježbanja primjenom specifičnih vježbi skokova (SVS) na izvedbu skoka u vis prekoračnom tehnikom i utvrditi nastale promjene u živčano-mišićnoj funkciji djece pri odrazu s dominantne noge.

Iz općeg cilja proizlaze tri specifična istraživačka cilja:

- utvrditi razlike u učincima trenažnih tretmana na rezultat u skoku u vis prekoračnom tehnikom s dominantnom nogom
- utvrditi razlike u učincima trenažnih tretmana u testu unilateralnog dubinsko-daljinskog skoka izvedbom s dominantnom nogom
- utvrditi razlike u učincima trenažnih tretmana u testu unilateralne statike ravnoteže

**H1:** Ispitanici u tretmanu bilateralnog vježbanja poboljšat će rezultat skoka u vis odrazom s dominantne noge u većoj mjeri u odnosu na ispitanike u tretmanu unilateralnog vježbanja.

**H2:** Ispitanici u tretmanu bilateralnog vježbanja poboljšat će rezultate u maksimalnoj i eksplozivnoj jakosti odrazom s dominantne noge u većoj mjeri u odnosu na ispitanike u tretmanu unilateralnog vježbanja.

**H3:** Ispitanici u tretmanu bilateralnog vježbanja poboljšat će rezultat unilateralne ravnoteže s dominantnom nogom u većoj mjeri u odnosu na ispitanike u tretmanu unilateralnog vježbanja.

### 3. METODE ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Uzorak ispitanika

U ovom istraživanju sudjelovala su sedamdeset i četiri ispitanika (četrdeset i tri djevojčice i trideset i jedan dječak) u dobi od sedam do dvanaest godina ( $AS \pm SD$ ,  $9,24 \pm 1,34$ ;  $ES_1 = 9,08 \pm 1,32$ ;  $ES_2 = 9,45 \pm 1,36$ ). Ispitanici su članovi Atletskog kluba Kvarner iz Rijeke. Prije početka provedbe projekta roditelji su na zajedničkim ili individualnim sastancima upoznati s planom provedbe istraživanja kao i s mogućim rizicima i dobrobitima sudjelovanja. Osnovni cilj istraživanja te detaljan opis eksperimentalnog protokola dostavljeni su roditeljima u pisanom obliku i usmeno su objašnjeni. Nakon sastanaka roditelji su potpisali suglasnost o sudjelovanju. Povjerenstvo za znanstveni rad i etiku Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu na sjednici održanoj 18. svibnja 2017. dalo je suglasnost za izvođenje projekta (broj: 11/2017). Nakon potpisivanja izjave o suglasnosti za sudjelovanje u istraživanju ispitanici su raspoređeni u jednu od dviju eksperimentalnih skupina:

- prva eksperimentalna skupina ( $ES_1$ ) – izvodila je treninge SVS-a s dominantnom i nedominantnom nogom. U ovom istraživanju dominantna noga podrazumijeva odraznu nogu.
- druga eksperimentalna skupina ( $ES_2$ ) – izvodila je treninge SVS-a isključivo s dominantnom nogom.

Kriterij isključenja ispitanika iz uzorka bio je sudjelovanje ispitanika na manje od 80 % treninga te bilo koji oblik sportske ozljede ili bolesti. Procjena veličine uzorka napravljena je s pomoću programa G\*Power. Uz unesene sljedeće parametre: vrijednost statističke pogreške od 0,05, vrijednost statističke snage od 0,95, broj skupina: 2 (2 ES), broj mjerenja: 3 (inicijalno, finalno i ponovljeno mjerenje), približnu korelaciju između mjerenja od 0,5 potrebna veličina uzorka jest 44.

**Tablica 2.** Broj ispitanika prema eksperimentalnim skupinama, spolu i morfološka obilježja

Skupina	Broj ispitanika			Tjelesna visina (cm) AS ± SD			Tjelesna masa (kg) AS ± SD		
	Ž	M	Ukupno	1	2	3	1	2	3
	ES 1	24	17	41	137,51±10,28	139,36±10,51	139,35±10,52	32,72±7,76	34,45±8,21
ES 2	19	14	33	139,58±9,86	141,32±10,08	141,33±10,11	34,62±7,62	36,41±8,11	35,46±8,16
Ukupno	43	31	74	138,44±10,08	140,23±10,30	140,23±10,32	33,57±7,70	35,32±8,17	34,44±8,38

**Legenda:** ES 1- prva eksperimentalna skupina, ES 2- druga eksperimentalna skupina, Ž- ženski spol, M- muški spol, AS- aritmetička sredina, SD- standardna devijacija, cm- centimetri, kg- kilogrami

### 3.2. Uzorak varijabli

Skup varijabli koji opisuju živčano-mišićne promjene odnose se na rezultat skoka u vis i trajanje faze kontakta stopala s podlogom, zatim kinetičke varijable izvedene iz sila reakcije podloge i varijable koje daju uvid u sposobnost unilateralne statičke ravnoteže. Trajanje kontakta stopala s podlogom kao i zasebnih potfaza tijekom odraza izraženo je u milisekundama, putanje tijela u centimetrima, dok su ostale varijable normalizirane u odnosu na ukupnu težinu tijela. Težina tijela (eng. *body weight*) jest vrijednost proizašla iz originalne mjerne jedinice za silu Njuton (eng. *Newton*), a predstavlja standardiziranu vrijednost zbog jednostavnije usporedbe rezultata.

**Tablica 3.** Popis varijabli istraživanja s kraticama i mjernim jedinicama

R.br.	Naziv varijable	Kratica	Mjerna jedinica
<b>SKOK U VIS PREKORAČNOM TEHNIKOM</b>			
1.	Visina skoka u vis prekoračnom tehnikom	REZ_VIS	cm
2.	Trajanje odraza skoka u vis prekoračnom tehnikom	T_ODRAZ_VI S	ms
<b>UNILATERALNI DUBINSKO-DALJINSKI SKOK</b>			
3.	Vršna sila ekscentrične faze odraza	ECC_PEAK	TT
4.	Trajanje ekscentrične faze odraza	t_ECC	ms
5.	Vršna sila u koncentrične faze odraza	CON_PEAK	TT
6.	Trajanje koncentrične faze odraza	t_CON	ms
7.	Trajanje ukupnog kontakta s podlogom	t_CONT	ms
8.	Brzina razvoja sile	RFD	TT/s
<b>UNILATRALNA STATIČKA RAVNOTEŽA</b>			
9.	Putanja u medio-lateralnom smjeru	ML_L	cm
10.	Putanja u antero-posteriornim smjeru	AP_L	cm

**Legenda:** cm – centimetri, ms – milisekunde, TT – težina tijela

### 3.3. Plan istraživanja

Eksperimentalni protokol provedenog istraživanja predviđao je sedam faza:

- *roditeljski sastanci* – prije provedbe trenažnog procesa obavljeno je sedam roditeljskih sastanaka te individualni razgovori s roditeljima. Nakon informiranja roditelja o ciljevima, načinu provedbe te mogućim benefitima i rizicima istraživanja roditelji su potpisali suglasnost.
- *uvodne terenske pripreme* – podrazumijevaju pripremu materijalnih uvjeta za provedbu trenažnog procesa i mjerenja. U ovoj fazi odredila se odrazna noga (dominantna noga) svakog djeteta na treninzima prije početnog mjerenja.
- *početno mjerenje* – prije početka testiranja ispitanici su imali desetominutno standardizirano zagrijavanje koje se sastojalo od trčanja, atletske škole trčanja i razgibavanja te su bili upoznati s protokolom testiranja. Zatim su ispitanici bili podvrgnuti mjerenjima. Mjerenje je obuhvaćalo skok u vis prekoračnom tehnikom, izvedbu dubinsko-daljinskog skoka i stajanje na jednoj nozi 20 sekundi (sve odraznom nogom).
- *raspodjela ispitanika po skupinama* – prije početka trenažne intervencije ispitanici su slučajnim odabirom svrstani u prvu eksperimentalnu skupinu (ES\_1) i drugu eksperimentalnu skupinu (ES\_2). Skupina ES\_1 provodila je trenažni postupak na dominantnoj i nedominantnoj nozi, a ES\_2 na dominantnoj nozi.
- *trenažno razdoblje* – nakon raspodjele ispitanika po skupinama ispitanici su započeli trenažni protokol u trajanju od dvanaest tjedana po dva puta tjedno. Nakon standardiziranog zagrijavanja ispitanici su provodili specifične vježbe skokova (SVS) u trajanju od 15 minuta. Evidentirao se svaki dolazak na trening.
- *završno mjerenje 1* – prije početka testiranja ispitanici su imali desetominutno standardizirano zagrijavanje koje se sastojalo od trčanja, atletske škole trčanja i razgibavanja te su bili upoznati s protokolom testiranja. Zatim su ispitanici bili podvrgnuti mjerenjima. Mjerenje je obuhvaćalo skok u vis prekoračnom tehnikom, izvedbu dubinsko-daljinskog skoka i stajanje na jednoj nozi 20 sekundi (sve odraznom nogom).
- *završno mjerenje 2 (retencija)* – ovo mjerenje provedeno je zbog provjere zakašnjelih trenažnih učinaka (rezidualni učinci). Predstavljaju zadržavanje razine sposobnosti i motoričke izvedbe nakon određenog razdoblja od prestanka trenažnog tretmana. Prije

početka mjerenja ispitanici su imali desetominutno standardizirano zagrijavanje koje se sastojalo od trčanja, atletske škole trčanja i razgibavanja te su bili upoznati s protokolom testiranja. Zatim su ispitanici bili podvrgnuti mjerenjima. Mjerenje je obuhvaćalo skok u vis prekoračnom tehnikom, izvedbu dubinsko-daljinskog skoka i stajanje na jednoj nozi 20 sekundi (sve odraznom nogom).

### **3.4. Protokol mjerenja**

Mjerenja su se provodila u tri vremenske točke: na početku (prije početka trenažnog protokola, *inicijalno testiranje*), odmah nakon trenažnog protokola (*završno testiranje\_1*) te tri tjedna nakon završetka trenažnog protokola (*završno testiranje\_2*). Na dan testiranja ispitanici su dolazili u Atletsku dvoranu Kantrida (Rijeka sport) prema unaprijed dogovorenim terminima. Inicijalno mjerenje održano je 9. i 10. veljače 2018., završno mjerenje\_1 18. i 19. svibnja 2018., a završno mjerenje\_2 9. i 10. lipnja 2018. Prije početka mjerenja ispitanici su bili upoznati s protokolom testiranja te su imali standardizirano zagrijavanje (Tablica 4). Nakon uvodnog dijela zagrijavanja započelo se s mjerenjem:

- skoka u vis prekoračnom tehnikom izvedbom s dominantne nogom,
- unilateralnog dubinsko-daljinskog skoka izvedbom s dominantne noge,
- unilateralne statičke ravnoteže izvedbom s dominantne noge.

**Tablica 4. Protokol zagrijavanja ispitanika za mjerenja**

Redni broj	Naziv vježbe	Broj ponavljanja – trajanje
<b>UVODNI DIO</b>		
1.	Trčanje laganim tempom	2 minute
<b>OPĆE PRIPREMNE VJEŽBE U MJESTU</b>		
2.	Kruženje glavom lijevo – desno	8x
3.	Bočni krugovi rukama prema naprijed i unatrag	10x
4.	Zasuci trupom lijevo – desno	10x
5.	Otkloni trupom lijevo – desno	10x
6.	Kruženje trupom	8x
7.	Naizmjenični zamasi nogom lijeva – desna	10x
<b>OPĆE PRIPREMNE VJEŽBE U KRETANJU</b>		
8.	Niski skip	20 m
9.	Visoki skip	20 m
10.	Zabacivanje potkoljenica	20 m
11.	Izbacivanje potkoljenica	20 m
12.	Skokovi na lijevoj nozi	10 m
13.	Skokovi na desnoj nozi	10 m
14.	Ubrzanje	2 x 30 m

### 3.4.1. Skok u vis prekoračnom tehnikom izvedbom s dominantne noge

Mjerenje skoka u vis prekoračnom tehnikom snimano je videokamerom Sony RX10 II (*high speed* 250 slika u sekundi). Nakon uvodnog zagrijavanja s nekoliko skokova preko letvice ispitanici će krenuti u postupak mjerenja. Kriteriji uspješnog skoka jesu ispitanikov preskok preko letvice bez pada te da je pritom izvršen jednonožni odraz. Ako je ispitanik izveo sunožan odraz ili odraz suprotnom nogom u odnosu na stranu zaleta, imao je pravo ponoviti skok. Bilježila se najviša preskočena visina, a ispitanik je na svakoj visini imao pravo na tri pokušaja. Mjerenje se završavalo kada bi ispitanik tri puta srušio letvicu ili samostalno odustao. Ispitanicima je bio dozvoljen zalet između pet i deset metara da bi se izbjeglo negativno djelovanje predugog ili prekratkog zaleta na visinu skoka. Zaletišta je označeno čunjevima kako bi ispitanike stavili u jednake uvjete i onemogućili eventualne varijacije prilasku letvici, tj. doskočištu. Visina letvice, odnosno skoka određena je s pomoću službenih stalaka i sudačkog metra na sredini letvice.



**Slika 3.** Skakalište za skok u vis

### 3.4.2. Unilateralni dubinsko-daljinski skok izvedbom s dominantne noge

Mjerenje kinetičkih signala unilateralnog dubinsko-daljinskog skoka provedeno se s pomoću platforme za mjerenje sile reakcije podloge (Quattro Jump 9290CD, Kistler, Švicarska). Dukarić, Antekolović, Baković, Rupčić i Cigrovski (2021) provedli su test-retest dubinsko-daljinskog skoka kod djece sa ciljem određivanja pouzdanosti varijabli za praćenje maksimalne i eksplozivne jakosti. Rezultati ukazuju na visoku pouzdanost testa (Crombach  $\alpha = 0,86-0,94$ ). Prije početka mjerenja ispitanicima je zadatak usmeno objašnjen i demonstriran te su imali jedan do dva probna pokušaja. Početna pozicija ispitanika bila je u koračnom položaju gdje je prednja noga bila nedominantna noga. Odrivom s nedominantne noge ispitanik se na platformi za mjerenje sile reakcije podloge odražavao s dominantnom nogom te doskakao sunožno. Da bi se ispitanike motiviralo na što snažniji odraz, na strunjačama koje su bile predviđene za doskok, označene su zone, a svaka zona od druge je bila udaljena za 15 cm. Ispitanici su od mjeritelja dobili uputu da skoče što dalje.

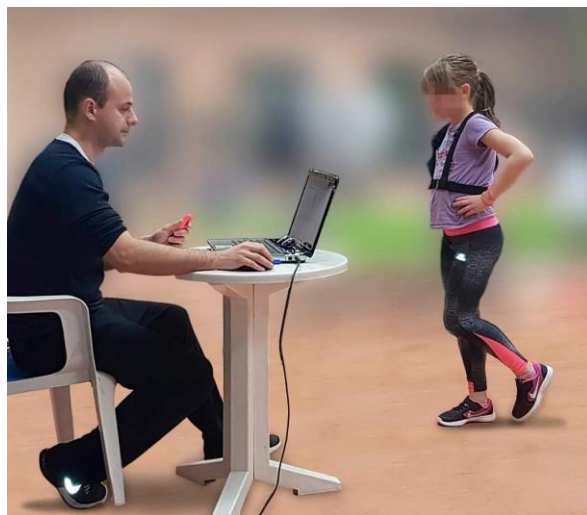


**Slika 4.** Testiranje unilateralnog dubinsko-daljinskog skoka



### 3.4.3. Unilateralna statička ravnoteža izvedbom s dominantnom nogom

Mjerenje unilateralne statičke ravnoteže provedo se uz pomoć inercijskog senzornog sustava Gyko (Microgate, Bolzano, Italy) koji mjeri migraciju uređaja u antero-posteriornom i medio-lateralnom smjeru. Jaworski i sur. (2020) su analizirali apsolutnu i relativnu pouzdanost brojnih mjera statičke ravnoteže s Gykom-om kod mladih. Rezultati ukazuju da su sve varijable koje karakteriziraju indekse posturalne stabilnosti pokazale visoke vrijednosti koeficijenata unutarrazredne korelacije (eng. *intraclass correlation coefficients*) i da se Gyko može koristiti kao učinkovita alternativa stabilografskih platformi. Prije početka mjerenja ispitanicima je zadatak usmeno objašnjen i demonstriran. Zadatkom mirnog stajanja na jednoj nozi na stabilnoj površini s otvorenim očima procjenjuje se statička ravnoteža ispitanika. Ispitanik će tijekom testiranja stajati na jednoj nozi (odraznoj nozi) s rukama postavljenima na bokovima i glavom u frankfurtskoj ravnini. Koljeno stajne noge bit će u položaju aktivne opruženosti (bez „zaključavanja” zgloba), dok će koljeno druge noge biti savijeno pod kutom od 90°. Svaki ispitanik imao je jedan probni pokušaj od 10 sekundi, nakon čega je slijedilo službeno testiranje.



**Slika 5.** Mjerenje unilateralne statičke ravnoteže

### 3.5. Trenažni protokol

Nakon inicijalnog mjerenja svi ispitanici su 26. veljače 2018. krenuli u eksperimentalni tretman. Eksperimentalne skupine trenirale su dvanaest tjedana dva puta tjedno, a razmak između treninga bio je najmanje 48 sati. Prije svake provedbe specifičnih vježbi skokova u trajanju od 15 minuta provedeno je standardizirano zagrijavanje (Tablica 4). Volumen opterećenja specifičnih vježbi skoka u vis odredio se na temelju broja kontakata stopala s podlogom (broj serija x broj ponavljanja) koji se kretao od 78 kontakata u početnoj fazi do 102 kontakata u završnoj fazi trenažnog protokola. SVS je sadržavao devet vrsta skokova (Tablica 5). Volumen opterećenja (Tablica 6) bio je u skladu s dosadašnjim istraživanjima (Diallo, Dore, Duche i Van Praagh, 2001; Kotzamanidis, 2006; Meylan i Malatesta, 2009; Brito-Almeida, Da Rocha Queiroz, Pessôa dos Prazeres, Carneiro, 2020). Distribucija volumena opterećenja pratila je principe kontinuiranosti, progresije i valovitosti. Tijekom trenažnog protokola vodila se evidencija o dolasku djece.

**Tablica 5.** *Specifične vježbe skokova za izvedbu skoka u vis prekoračnom tehnikom*

Redni broj	Naziv vježbe	Kratika
1.	Jednonožni – frontalni poskoci preko oznaka	JPK
2.	Jednonožni poskoci – frontalno + lateralno	JFL
3.	Svaki drugi korak odraz preko prepone	S2
4.	Dohvatni skok	DS
5.	Skok ravnim zaletom na povišenje	RZT
6.	Naskok na strunjače kosim zaletom prekoračno s povišenja	SPP
7.	Skok u vis prekoračnom tehnikom	SPT
8.	Svaki drugi korak odraz prekoračno preko prepona	DŠ
9.	Svaki četvrti korak odraz preko prepone	S4

**Tablica 6.** *Volumen opterećenja tijekom trenajnog razdoblja od 12 tjedana*

Broj tjedana	Specifične vježbe skokova	Ukupni broj kontakata	ES_1
			25 %, 50 %, 75 % nedominantna noga
1.	JPK (48), JFL (24), DS (6)	78	20
2.	JPL (30), JFL (30), S2 (18), DS (6)	84	21
3.	JFL (48), S2 (32), DS (4), RZT (6)	90	23
4.	JPK (30), JFL (30), S2 (18), RZT (6)	84	21
5.	JFL (48), S2 (12), S4 (24)	84	42
6.	JFL (48), S2 (32), RZT (6), SPT (6)	92	46
7.	JPK (48), S4 (32), RZT (8), SPP (8)	96	48
8.	JFL (44), S2 (24), DŠ (24)	92	46
9.	JFL (48), JPK (36), SPT (8)	92	69
10.	JFL (30), JPK (30), DŠ (30), SPP (6)	96	72
11.	JPK (48), S4 (24), S2 (24), SPT (6)	102	76
12.	JPK (33), JFL (33), DŠ (24), DS (6)	96	72

**Legenda:** **JPK** – jednoonožni frontalni poskoci preko oznaka, **JFL** – jednoonožni poskoci – frontalno + lateralno, **S2** – svaki drugi korak odraz preko prepone, **DS** – dohvatni skok, **RZT** – skok ravnim zaletom na povišenje, **SPP** – naskok na strunjače kosim zaletom prekoračno s povišenja, **SPT** – skok u vis prekoračnom tehnikom, **DŠ** – svaki drugi korak odraz prekoračno preko prepona, **S4** – svaki četvrti korak odraz preko prepone

### 3.6. Metode obrade podataka

#### 3.6.1. Izračunavanje kinetičkih i kinematičkih podataka

- Skok u vis prekoračnom tehnikom- u daljnju obradu išao je najbolji ostvareni rezultat, a 2D kinematička analiza provela se u programu Kinovea koji omogućava jednostavnu analizu usporenih videozapisa. Početak odraza označava slika u kojoj je stopalo ostvarilo prvi kontakt s podlogom, a posljednja slika prije napuštanja podloge kao zadnja. Na temelju zadanih parametara u programu se izračunalo trajanje odraza u milisekundama.
- Unilateralni dubinsko-daljinski skok- mjerila su se tri pokušaja odraznom nogom te je najdalji skok išao u daljnju obradu podataka.
- Unilateralna statička ravnoteža- mjerila su se tri pokušaja po 20 sekundi odraznom nogom, a u daljnju obradu podataka se uzimala aritmetička sredina.

### 3.6.2. Statistička obrada podataka

Za obradu podataka primijenio se programski paket IBM SPSS 25. Za sve varijable u svim mjerenjima izračunani su sljedeći deskriptivni parametri: aritmetička sredina (AS), standardna devijacija (SD), minimalna vrijednost (MIN), maksimalna vrijednost (MAX), pokazatelji asimetrije distribucije (*skewness*) i pokazatelji izduženosti distribucije (*kurtosis*). Za sve varijable inicijalnog i finalnog mjerenja 1 i 2 testirana je normalnost distribucije varijabli Kolmogorov-Smirnovljevim testom (K-S).

Za utvrđivanje razlika u prosječnim rezultatima između inicijalnog i završnog mjerenja 1 primijenio se T-test za zavisne uzorke. U slučaju narušenog preduvjeta normalnosti distribucije varijable značajnost je dodatno ispitana neparametrijskim testom (Wilcoxonov test ekvivalentnih parova). Veličina učinka izračunata je po Cohen-u za svaku eksperimentalnu skupinu, a rezultati su interpretirani kao trivijalni učinak ( $<0,20$ ), mali učinak ( $0,20-0,49$ ), srednji učinak ( $0,50-0,79$ ) i veliki učinak ( $\geq 0,8$ ) (Cohen, 1977).

Da bi se ispitala razlika u rezultatima na tri mjerenja s obzirom na eksperimentalnu skupinu (ES) za sve promatrane varijable provedene su dvofaktorske analize varijance (skupina x vrijeme) s ponovljenim mjerenjima. Ako se utvrdio značajan F-omjer za faktor vrijeme mjerenja, primijenila se metoda višestrukih usporedbi uz Bonferroni korekciju. Preduvjet sferičnosti ispitan je Mauchlyjevim testom. U slučajevima narušene sferičnosti primijenjena je Greenhouse-Geisserova korekcija stupnjeva slobode. S obzirom na izrazitu pozitivnu asimetričnost varijabli, prije provedbe analize varijance varijable su normalizirane putem  $1/X$  transformacije (Tabachnick i Fidell, 2013). Za varijable koje su umjereno asimetrične izvršena je dodatna provjera rezultata ponavljanjem analize varijance nakon normalizacije varijabli SQRT transformacijom (Tabachnick i Fidell, 2013). Kao mjera veličine učinka izračunat je parcijalni eta kvadrat ( $\eta_p^2$ ), a rezultati su se interpretirali kao mali učinak ( $0,01$ ), srednji učinak ( $0,06$ ) i veliki učinak ( $0,14$ ) (Field, 2013). Statistička značajnost razlika bila je testirana na razini od  $0,05$ .

## 4. REZULTATI

### 4.1. Deskriptivna statistika

U Tablici 7 prikazani su rezultati osnovnih deskriptivnih statističkih parametara inicijalnog mjerenja za sve promatrane varijable u projektu: rezultat skoka u vis prekoračnom tehnikom (REZ\_VIS), trajanje odraza pri izvedbi skoka u vis prekoračnom tehnikom (T\_ODRAZ\_VIS). Slijede varijable koje se odnose na vrijednosti dobivene izvedbom dubinsko-daljinskog skoka: vršnu silu u ekscentričnoj fazi odraza (ECC\_PEAK), trajanje ekscentrične faze odraza (t\_ECC), vršnu silu u koncentričnoj fazi odraza (CON\_PEAK), trajanje koncentrične faze odraza (t\_CON), brzina razvoja sile (RFD), trajanje kontakta s podlogom (t\_CONT) i dvije varijable koje se odnose na test koji procjenjuje statičku unilateralnu ravnotežu: oscilacije mjernog uređaja u medio-lateralnom smjeru (ML\_L) i antero-posteriornom smjeru (AP\_L). Normalnost distribucija svih varijabli ispitana je Kolmogorov-Smirnovljevim testom (K-S).

Prosječni rezultat skoka u vis (REZ\_VIS) u inicijalnom mjerenju iznosio je  $88,61 \pm 15,26$  cm (AS  $\pm$  SD), s minimalnom vrijednošću od 53 cm i maksimalnom od 128 cm. Vrijednosti standardnih devijacija, kao i rasponi između minimalnih i maksimalnih vrijednosti inicijalnog mjerenja, relativno su veliki. Rezultati K-S testa pokazali su da varijable trajanja kontakta stopala s podlogom pri izvedbi skoka u vis (T\_ODRAZ\_VIS), brzine razvoja sile (RFD), translacije mjernog uređaja u medio-lateralnom smjeru (ML\_L) i u antero-posteriornom smjeru (AP\_L) nisu normalno distribuirane, a na temelju indeksa simetričnosti (*skewness*) vidi se da su pozitivno asimetrične.

**Tablica 7.** Deskriptivna statistika, mjere asimetričnosti i zakrivljenosti distribucije rezultata inicijalnog mjerenja svih ispitanika testom normaliteta distribucije

Varijable	AS ± SD	Min	Max	Sk	Ku	Kolmogorov-Smirnov	
						max D	p
REZ_VIS (cm)	88,61 ± 15,26	53	128	-0,01	-0,35	0,09	0,200
T_ODRAZ_VIS (ms)	220,44 ± 29,86	160	296	0,34	-0,15	<b>0,11*</b>	<b>0,035</b>
ECC_PEAK (TT)	4,30 ± 1,38	1,30	7,43	0,38	-0,24	0,08	0,200
t_ECC (ms)	37,84 ± 6,97	20	56	0,10	0,20	0,08	0,200
CON_PEAK (TT)	2,62 ± 0,34	1,79	3,40	0,32	-0,22	0,06	0,200
t_CON (ms)	236,97 ± 33,59	172	318	0,36	-0,27	0,10	0,086
RFD (TT/s)	19,57 ± 11,63	3,75	48,97	0,84	-0,15	<b>0,14**</b>	<b>0,001</b>
t_CONT (ms)	275,67 ± 35,66	206	358	0,29	-0,31	0,07	0,200
ML_L (cm)	111,74 ± 76,79	38,92	431,76	2,44	6,94	<b>0,20**</b>	<b>0,000</b>
AP_L (cm)	104,55 ± 54,46	38,96	353,87	2,09	5,90	<b>0,17**</b>	<b>0,000</b>

**Legenda:** AS – aritmetička sredina, SD – standardna devijacija, Min – minimalna rezultat, Max – maksimalni rezultat, Sk – skewness, Ku – kurtosis, K-S – Kolmogorov-Smirnovljev test, maxD – maksimalno odstupanje relativne kumulativne empirijske frekvencije od relativne kumulativne teorijske frekvencije, p – vrijednost, REZ\_VIS (cm) – rezultat u skoku u vis (centimetri), T\_ODRAZ\_VIS (ms) – trajanje odraza pri izvedbi skoka u vis (milisekunde), ECC\_PEAK (TT) – vršna sila ekscentrične faze (težina tijela), t\_ECC (ms) – trajanje ekscentrične faze (milisekunde), CON\_PEAK (TT) – vršna sila koncentrične faze (težina tijela), t\_CON (ms) – trajanje koncentrične faze (milisekunde), t\_CONT (ms) – trajanje kontakta s podlogom (milisekunde), RFD (TT/s) – vršni gradijent sile, ML\_L (cm) – putanja u medio-lateralnom smjeru (centimetri), AP\_L (cm) – putanja u antero-posteriornom smjeru (centimetri), \* – statistički značajne vrijednosti, podebljano p < 0,05, \*\* – statistički značajne vrijednosti, podebljano p < 0,01

Prosječni rezultat skoka u vis (REZ\_VIS) u završnom mjerenju 1 iznosio je  $94,39 \pm 14,35$  cm, s minimalnom vrijednošću od 62 cm i maksimalnom od 125 cm. Vrijednosti standardnih devijacija kao i rasponi između minimalnih i maksimalnih vrijednosti finalnog mjerenja ukazuju na relativno veliku disperziju rezultata. Rezultati K-S testa pokazali su da varijable trajanje kontakta stopala s podlogom pri izvedbi skoka u vis (T\_ODRAZ\_VIS), trajanje ekscentrične faze odraza (t\_ECC), brzina razvoja sile (RFD), translacija mjernog uređaja u medio-lateralnom smjeru (ML\_L), i u antero-posteriornom smjeru (AP\_L) nisu normalno distribuirane, a na temelju indeksa simetričnosti (skewness) vidi se da su pozitivno asimetrične.

**Tablica 8.** Deskriptivna statistika, mjere asimetričnosti i zakrivljenosti distribucije rezultata završnog mjerenja 1 svih ispitanika s testom normaliteta distribucije

Varijable	AS ± SD	Min	Max	Sk	Ku	Kolmogorov-Smirnov	
						max D	p
REZ_VIS (cm)	94,39 ± 14,35	62	125	-0,03	-0,76	0,09	0,200
T_ODRAZ_VIS (ms)	214,49 ± 25,70	168	288	0,72	0,69	<b>0,13**</b>	<b>0,003</b>
ECC_PEAK (TT)	2,57 ± 0,31	1,84	3,31	0,25	-0,55	0,08	0,200
t_ECC (ms)	38,16 ± 5,61	28	54	0,40	-0,14	<b>0,11*</b>	<b>0,025</b>
CON_PEAK (TT)	2,57 ± 0,31	1,85	3,31	0,25	-0,55	0,09	0,200
t_CON (ms)	229,43 ± 27,64	170	296	0,14	-0,40	0,08	0,200
RFD (TT/s)	18,74 ± 11,88	3,16	50	1,09	0,58	<b>0,14**</b>	<b>0,001</b>
t_CONT (ms)	267,19 ± 31,30	202	338	0,15	-0,38	0,06	0,200
ML_L (cm)	105,72 ± 80,14	30,74	431,72	2,45	6,43	<b>0,25**</b>	<b>0,000</b>
AP_L (cm)	100,08 ± 51,60	45,75	328,75	2,04	5,21	<b>0,20**</b>	<b>0,000</b>

**Legenda:** AS – aritmetička sredina, SD – standardna devijacija, Min – minimalna rezultat, Max – maksimalni rezultat, Sk – skewness, Ku – kurtosis, K-S – Kolmogorov-Smirnovljev test, maxD – maksimalno odstupanje relativne kumulativne empirijske frekvencije od relativne kumulativne teorijske frekvencije, p – vrijednost, REZ\_VIS (cm) – rezultat u skoku u vis (centimetri), T\_ODRAZ\_VIS (ms) – trajanje odraza pri izvedbi skoka u vis (milisekunde), ECC\_PEAK (TT) – vršna sila ekscentrične faze (težina tijela), t\_ECC (ms) – trajanje ekscentrične faze (milisekunde), CON\_PEAK (TT) – vršna sila koncentrične faze (težina tijela), t\_CON (ms) – trajanje koncentrične faze (milisekunde), t\_CONT (ms) – trajanje kontakta s podlogom (milisekunde), RFD (TT/s) – vršni gradijent sile, ML\_L (cm) – putanja u medio-lateralnom smjeru (centimetri), AP\_L (cm) – putanja u antero-posteriornom smjeru (centimetri), \* – statistički značajne vrijednosti, podebljano p < 0,05, \*\* – statistički značajne vrijednosti, podebljano p < 0,01

Prosječni rezultat skoka u vis (REZ\_VIS) u završnom mjerenju 2 iznosio je 93,74 ± 13,32 cm, s minimalnom vrijednošću od 62 cm i maksimalnom od 134 cm. Vrijednosti standardnih devijacija kao i rasponi između minimalnih i maksimalnih vrijednosti mjerenja u retenciji ukazuju na relativno veliku disperziju rezultata. Rezultati K-S testa pokazali su da varijable vršna sila ekscentrične faze (ECC\_PEAK), trajanje ekscentrične faze odraza (t\_ECC), brzina razvoja sile (RFD), translacija mjernog uređaja u medio-lateralnom smjeru (ML\_L) i u antero-posteriornom smjeru (AP\_L) nisu normalno distribuirane, a na temelju indeksa simetričnosti (skewness) vidi se da su pozitivno asimetrične.

**Tablica 9.** Deskriptivna statistika, mjere asimetričnosti i zakrivljenosti distribucije rezultata završnog mjerenja 2 svih ispitanika s testom normaliteta distribucije

Varijable	AS ± SD	Min	Max	Sk	Ku	Kolmogorov-Smirnov	
						max D	p
REZ_VIS (cm)	93,74 ± 13,32	62	134	0,28	0,23	0,08	0,200
T_ODRAZ_VIS (ms)	213,78 ± 27,20	152	284	0,38	-0,16	0,10	0,071
ECC_PEAK (TT)	4,34 ± 1,35	1,87	7,94	0,56	-0,34	<b>0,12*</b>	<b>0,013</b>
t_ECC (ms)	37,16 ± 5,58	26	52	0,77	0,38	<b>0,12*</b>	<b>0,010</b>
CON_PEAK	2,55 ± 0,31	1,86	3,41	0,08	0,30	0,06	0,200
t_CON (ms)	229,65 ± 28,76	154	322	0,40	1,33	0,06	0,200
RFD (TT/s)	19,53 ± 11,60	3,59	50,74	0,97	0,32	<b>0,13**</b>	<b>0,004</b>
t_CONT (ms)	268,16 ± 30,68	186	372	0,58	1,53	0,08	0,200
ML_L (cm)	110,09 ± 73,74	36,3	398,63	2,09	4,92	<b>0,19**</b>	<b>0,000</b>
AP_L (cm)	113,12 ± 51,22	48,77	308,34	1,61	3,51	<b>0,13**</b>	<b>0,006</b>

**Legenda:** AS – aritmetička sredina, SD – standardna devijacija, Min – minimalna rezultat, Max – maksimalni rezultat, Sk – skewness, Ku – kurtosis, K-S – Kolmogorov-Smirnovljev test, maxD – maksimalno odstupanje relativne kumulativne empirijske frekvencije od relativne kumulativne teorijske frekvencije, p – vrijednost, REZ\_VIS (cm) – rezultat u skoku u vis (centimetri), T\_ODRAZ\_VIS (ms) – trajanje odraza pri izvedbi skoka u vis (milisekunde), ECC\_PEAK (TT) – vršna sila ekscentrične faze (težina tijela), t\_ECC (ms) – trajanje ekscentrične faze (milisekunde), CON\_PEAK (TT) – vršna sila koncentrične faze (težina tijela), t\_CON (ms) – trajanje koncentrične faze (milisekunde), t\_CONT (ms) – trajanje kontakta s podlogom (milisekunde), RFD (TT/s) – vršni gradijent sile, ML\_L (cm) – putanja u medio-lateralnom smjeru (centimetri), AP\_L (cm) – putanja u antero-posteriornom smjeru (centimetri), \* – statistički značajne vrijednosti, podebljano p < 0,05, \*\* – statistički značajne vrijednosti, podebljano p < 0,01

## 4.2. Razlike između inicijalnog i završnog mjerenja 1

U Tablici 10 prikazane su vrijednosti aritmetičkih sredina i standardnih devijacija za svaku varijablu i eksperimentalnu skupinu posebno u inicijalnom i završnom mjerenju 1. Statistička značajnost samih promjena u skupinama testirana je t-testom za zavisne uzorke, a ako je došlo do narušenog preduvjeta normalnosti distribucije, varijabla je ispitana neparametrijskim testom (Wilcoxonov test ekvivalentnih parova). Za utvrđivanje veličine učinka eksperimentalnog tretmana u skupinama primijenjen je Cohenov d.

Po završetku dvanaestotjedne trenažne intervencije ispitanici bilateralne skupine (ES1) ostvarili su statistički značajno viši rezultat u varijabli skoka u vis (REZ\_VIS) u završnom mjerenju 1 nego u početnom mjerenju ( $t_{(40)} = 8,58$ ,  $p = 0,000$ ), a veličina učinka bila je velika ( $d = 1,34$ ). Ispitanici unilateralne skupine (ES2) ostvarili su statistički značajno viši rezultat u



varijabli REZ\_VIS u završnom mjerenju 1 nego u inicijalnom mjerenju ( $t_{(32)} = 5,68$ ,  $p = 0,000$ ), a veličina učinka bila je velika ( $d = 0,99$ ). Kod ostalih varijabli u obje eksperimentalne skupine nisu uočene statistički značajne razlike (Tablica 10).

**Tablica 10.** Deskriptivna statistika rezultata inicijalnog i finalnog mjerenja po skupinama s koeficijentom veličine učinka i statističkom značajnošću razlika unutar skupina

Varijable		Grupa	
		Eksperimentalna skupina 1 AS $\pm$ SD	Eksperimentalna skupina 2 AS $\pm$ SD
REZ_VIS (cm)	Inicijalno	88,56 $\pm$ 15,92	88,67 $\pm$ 14,64
	Završno mjerenje 1	94,49 $\pm$ 15,69	94,27 $\pm$ 12,73
	Veličina učinka	$d = 1,34$	$d = 0,99$
	t-test	$t_{(40)} = 8,58$ $p = 0,000^*$	$t_{(32)} = 5,68$ $p = 0,000^*$
t_ODRAZ_VIS (ms)	Inicijalno		219,88 $\pm$ 26,87
	Završno mjerenje 1		214,75 $\pm$ 25,57
	Veličina učinka		$d = 0,24$
	t-test		$t_{(31)} = 1,34$ $p = 0,191$
ECC_PEAK (TT)	Inicijalno	4,35 $\pm$ 1,36	4,18 $\pm$ 1,41
	Završno mjerenje 1	4,35 $\pm$ 1,39	4,09 $\pm$ 1,15
	Veličina učinka	$d = 0,00$	$d = 0,06$
	t-test	$t_{(39)} = 0,01$ $p = 0,992$	$t_{(32)} = 0,35$ $p = 0,726$
t_ECC (ms)	Inicijalno	37,76 $\pm$ 7,39	38,19 $\pm$ 6,47
	Završno mjerenje 1	37,76 $\pm$ 6,18	38,69 $\pm$ 4,84
	Veličina učinka	$d = 0,00$	$d = 0,08$
	t-test	$t_{(40)} = 0,00$ $p = 1,000$	$t_{(31)} = 0,45$ $p = 0,658$
CON_PEAK (TT)	Inicijalno	2,66 $\pm$ 0,36	2,56 $\pm$ 0,32
	Završno mjerenje 1	2,62 $\pm$ 0,33	2,50 $\pm$ 0,27
	Veličina učinka	$d = 0,12$	$d = 0,15$
	t-test	$t_{(40)} = 0,78$ $p = 0,442$	$t_{(32)} = 1,05$ $p = 0,393$
t_CON (ms)	Inicijalno	233,29 $\pm$ 32,61	241,69 $\pm$ 34,74
	Završno mjerenje 1	226,00 $\pm$ 25,94	231,75 $\pm$ 27,70
	Veličina učinka	$d = 0,22$	$d = 0,29$
	t-test	$t_{(40)} = 1,39$ $p = 0,171$	$t_{(31)} = 1,63$ $p = 0,113$
t_CONT (ms)	Inicijalno	272,98 $\pm$ 33,93	279,13 $\pm$ 38,02
	Završno mjerenje 1	263,76 $\pm$ 29,64	269,38 $\pm$ 31,49
	Veličina učinka	$d = 0,26$	$d = 0,28$
	t-test	$t_{(40)} = 1,65$ $p = 0,106$	$t_{(31)} = 1,56$ $p = 0,138$

**Legenda:** AS – aritmetička sredina, SD – standardna devijacija, REZ\_VIS (cm) – rezultat u skoku u vis (centimetri), T\_ODRAZ\_VIS (ms) – trajanje odraza pri izvedbi skoka u vis (milisekunde), ECC\_PEAK (TT) – vršna sila ekscentrične faze (težina tijela), t\_ECC (ms) – trajanje ekscentrične faze (milisekunde), CON\_PEAK (TT) – vršna sila koncentrične faze (težina tijela), t\_CON (ms) – trajanje koncentrične faze (milisekunde), t\_CONT (ms) – trajanje kontakta s podlogom (milisekunde), d – veličina učinka (Cohenov d), t-test – t-vrijednost, \* – statistički značajne vrijednosti, podebljano  $p < 0,05$

Wilcoxonov test ekvivalentnih parova proveden je na varijablama: trajanje odraza pri izvedbi skoka u vis prekoračnom tehnikom (T\_ODRAZ\_VIS), brzina razvoja sile (RFD), translacija mjernog uređaja u medio-lateralnom smjeru (ML\_L) i antero-posteriornom smjeru (AP\_L). Ispitanici bilateralne skupine (ES1) ostvarili su statistički značajan napredak u rezultatu na varijabli ML\_L ( $Z = -2,25$ ,  $p = 0,025$ ). Skupina ES1 značajno je smanjila translaciju mjernog uređaja u medio-lateralnom smjeru u završnom mjerenju 1 ( $C = 72,10$ ,  $Q_{3-1} = 47,01$ ) u odnosu na inicijalno mjerenje ( $C = 87,73$ ,  $Q_{3-1} = 45,01$ ). Kod ostalih varijabli u obje eksperimentalne skupine nisu uočene statistički značajne razlike (tablica 11).

**Tablica 11.** Wilcoxonov test ekvivalentnih parova

Varijable		Skupina	
		Eksperimentalna skupina 1	Eksperimentalna skupina 2
		$C \pm Q_{3-1}$	$C \pm Q_{3-1}$
T_ODRAZ_VIS (ms)	Inicijalno	220,00 ± 46,00	
	Završno mjerenje 1	208,00 ± 26,00	
	Z	-1,29	
	p	p = 0,197	
RFD (TT/s)	Inicijalno	15,96 ± 14,65	17,51 ± 16,64
	Završno mjerenje 1	17,27 ± 15,76	12,73 ± 13,91
	Z	-0,11	-0,15
	p	p = 0,914	p = 0,879
ML_L (cm)	Inicijalno	87,73 ± 45,01	85,03 ± 83,23
	Završno mjerenje 1	72,10 ± 47,01	84,78 ± 100,57
	Z	<b>-2,25</b>	-0,10
	p	<b>p = 0,025*</b>	p = 0,922
AP_L (cm)	Inicijalno	93,44 ± 45,15	86,27 ± 57,13
	Završno mjerenje 1	78,14 ± 35,88	86,52 ± 56,39
	Z	-1,63	-0,51
	p	p = 0,104	p = 0,611

**Legenda:** N – broj ispitanika, C – medijan (centralna vrijednost),  $Q_{3-1}$  – interkvartilni raspon, Z – vrijednost, p – razina značajnosti, RFD – vršni gradijent sile, ML\_L (cm) – putanja u medio-lateralnom smjeru (centimetri), AP\_L – putanja u antero-posteriornom smjeru (centimetri), \* – statističke značajne vrijednosti, podebljano  $p < 0,05$

### 4.3. Dvofaktorska analiza varijance na ponovljenim mjerenjima

Da bi se ispitala razlika u rezultatima na tri mjerenja s obzirom na eksperimentalnu skupinu (ES) za sve promatrane varijable provedene su dvofaktorske analize varijance (eksperimentalna skupina x vrijeme) s ponovljenim mjerenjima na jednom faktoru (vrijeme) (tablica 12).

**Tablica 12.** Dvofaktorska analiza varijance između dvije eksperimentalne grupe za ponovljena mjerenja ( $F$  –  $F$  test,  $p$  – razina značajnosti)

Varijable	Eksperimentalna skupina			Vrijeme			Interakcija (Eksperimentalna skupina*Vrijeme)		
	F	p	$\eta_p^2$	F	p	$\eta_p^2$	F	p	$\eta_p^2$
REZ_VIS (cm)	0,01	0,932	0,00	52,48	<b>0,000*</b>	0,42	0,48	0,603	0,01
T_ODRAZ_VIS (ms)	0,05	0,827	0,00	4,07	<b>0,031*</b>	0,05	0,23	0,724	0,00
ECC_PEAK (TT)	0,12	0,725	0,00	0,37	0,690	0,01	1,00	0,370	0,01
t_ECC (ms)	0,34	0,561	0,00	0,77	0,455	0,01	0,05	0,938	0,00
CON_PEAK (TT)	4,25	<b>0,043*</b>	0,06	1,40	0,249	0,02	0,05	0,937	0,00
t_CON (ms)	2,23	0,139	0,03	3,01	0,058	0,04	0,16	0,832	0,00
RFD (TT/s)	0,38	0,541	0,01	0,32	0,729	0,00	0,38	0,686	0,01
t_CONT (ms)	1,14	0,289	0,02	3,36	<b>0,043*</b>	0,05	0,05	0,940	0,00
ML_L (cm)	0,10	0,743	0,00	2,51	0,099	0,03	0,81	0,420	0,01
AP_L (cm)	0,04	0,837	0,00	6,41	<b>0,005*</b>	0,08	1,99	0,152	0,03

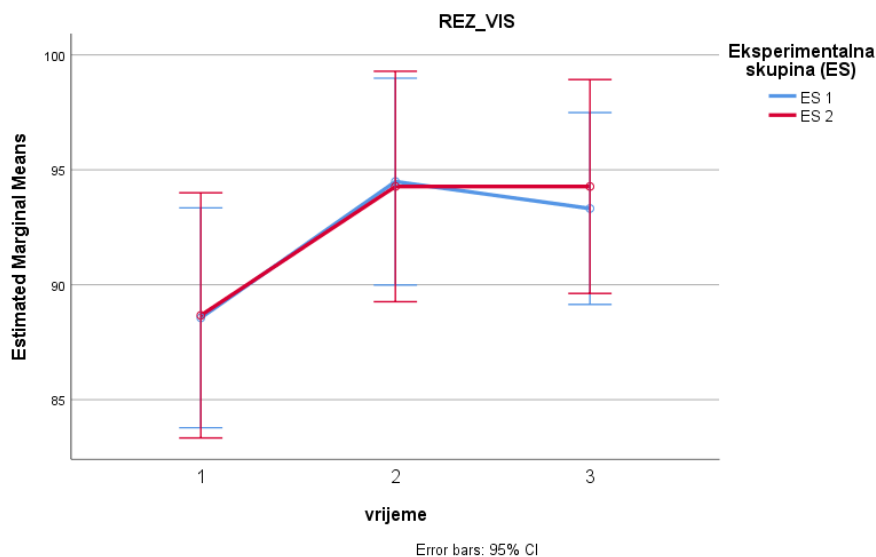
**Legenda:** REZ\_VIS (cm) – rezultat u skoku u vis (centimetri), T\_ODRAZ\_VIS (ms) – trajanje odraza pri izvedbi skoka u vis (milisekunde), ECC\_PEAK (TT) – vršna sila ekscentrične faze (težina tijela), t\_ECC (ms) – trajanje ekscentrične faze (milisekunde), CON\_PEAK (TT) – vršna sila koncentrične faze (težina tijela), t\_CON (ms) – trajanje koncentrične faze (milisekunde), RFD – vršni gradijent sile, t\_CONT (ms) – trajanje kontakta s podlogom (milisekunde), ML\_L (cm) – putanja u medio-lateralnom smjeru (centimetri), AP\_L (cm) – putanja u antero-posteriornom smjeru (centimetri), F – vrijednost, \* – statistički značajne vrijednosti, podebljano p < 0,05,  $\eta_p^2$  – parcijalni eta kvadrat (veličina učinka).

Dvofaktorska analiza varijance (eksperimentalna skupina x vrijeme) s ponovljenim mjerenjima utvrdila je značajan F- omjer za faktor vrijeme mjerenja na rezultat u varijablama: postignuti rezultat u skoku u vis (REZ\_VIS), trajanje odraza pri izvedbi skoka u vis (T\_ODRAZ\_VIS), trajanje kontakta stopala s podlogom pri izvedbi dubinsko-daljinskog skoka (t\_CONT) i translaciji mjernog uređaja u antero-posteriornom smjeru (AP\_L). Višestruke usporedbe (Bonferroni) u varijabli REZ\_VIS ( $F_{(1,82,130,74)} = 52,48$ ,  $p < ,01$ ,  $\eta_p^2 = ,42$ ) ukazuju na statistički značajno niži prosječan rezultat u prvom mjerenju (AS = 88,61, SE = 1,80) u usporedbi s drugim (AS = 94,38, SE = 1,69) i trećim mjerenjem (AS = 93,79, SE = 1,57) između kojih nema značajne razlike. U varijablama T\_ODRAZ\_VIS

( $F_{(1,46,102,11)} = 4,07$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta_p^2 = ,05$ ) i  $t_{\text{CONT}}$  ( $F_{(1,78,126,65)} = 3,36$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta_p^2 = ,05$ ) višestruke usporedbe uz Bonferroni korekciju ne ukazuju na značajne razlike između pojedinih vremena mjerenja, dok rezultati u varijabli AP\_L ( $F_{(1,53,110,18)} = 6,41$ ,  $p < 0,01$ ,  $\eta_p^2 = ,08$ ) ukazuju na značajno viši prosječan rezultat u trećem mjerenju ( $C = 103,24$ ,  $Q_{3-1} = 58,75$ ) u usporedbi s rezultatom u drugom mjerenju ( $C = 84,99$ ,  $Q_{3-1} = 45,47$ ), što u ovom slučaju predstavlja lošiji rezultat.

Dvofaktorska analize varijance s ponovljenim mjerenjima utvrdila je značajni efekt eksperimentalne skupine na rezultat u varijabli vršne sile koncentrične faze odraza (CON\_PEAK) pri izvedbi unilateralnog dubinsko-daljinskog skoka. Rezultati u varijabli CON\_PEAK ( $F_{(1,72)} = 4,25$ ;  $p < ,05$ ) ukazuju na to da je prosječan rezultat skupine ES1 ( $AS = 2,63$ ,  $SE = 0,04$ ) značajno viši od prosječnog rezultata skupine ES2 ( $AS = 2,51$ ,  $SE = 0,04$ ).

Interakcijski učinak između faktora eksperimentalne skupine i vremena mjerenja na pojedinu zavisnu varijablu, a koji bi trebao pokazati značajnost diferencijalnog učinka primijenjenih programa treninga, nije bio statistički značajan ni za jednu promatranu varijablu, odnosno oba trenažna programa proizvela su jednake trenažne učinke.



**Graf 1.** Rezultat analize varijance za ponovljena mjerenja na varijabli REZ\_VIS

U grafikonu 1 dodatno su prikazani rezultati analize varijance za ponovljena mjerenja na varijabli REZ\_VIS da bi se dobila jasna slika o promjenama koje su se dogodile u disciplini skoka u vis prekoračnom tehnikom, a koja je bila glavni predmet ovog istraživanja. Na grafikonu se vidi da je došlo do gotovo identičnog poboljšanja u obje eksperimentalne skupine u finalnom mjerenju u odnosu na inicijalno mjerenje, a u retenciji razinu preskočene visine zadržavaju ispitanici unilateralne skupine (ES2), dok se kod bilateralne skupine (ES1) uočava blago smanjenje u rezultatu u odnosu na finalno mjerenje.

## 5. RASPRAVA

Cilj ovog rada bio je istražiti promjene u živčano-mišićnom izlazu primjenom različitih trenažnih tretmana na izvedbu skoka u vis prekoračnom tehnikom kod djece, odrazom s dominantne noge. Nacrtom istraživanja predviđene su dvije eksperimentalne skupine u kojima su sudjelovala sedamdeset i četiri djeteta djece u dobi od sedam do dvanaest godina. Prva eksperimentalna skupina (ES1) provodila je specifične vježbe skokova primjenjujući lijevi i desni donji ekstremitet (BT), a druga eksperimentalna skupina (ES2) provodila je iste vježbe, ali primjenom isključivo dominantne noge (UT). Promatrajući dizajn ovog istraživačkog projekta, moglo bi se pretpostaviti da će postignuti rezultati u svim promatranim varijablama ići u korist grupi koja je trenirala samo dominantnom nogom kao što se to uglavnom provodi u praksi. Međutim, nakon proučavanja literature o motoričkom učenju i fenomenu ukrižene edukacije, hipoteze ovog istraživanja definirane su u korist eksperimentalne skupine koja vježba lijevim i desnim donjim ekstremitetom iako je za donošenje konkretnih zaključaka potrebno još dodatnih istraživanja.

Primarni nalaz ovog istraživačkog rada jest da su obje eksperimentalne skupine ostvarile statistički značajan napredak u rezultatu skoka u vis prekoračnom tehnikom, što znači da je raspodjela ukupnog volumena opterećenja primjenom specifičnih vježbi skokova na lijevi i desni donji ekstremitet jednako učinkovito kao i vježbanje isključivo dominantnom nogom kod djece. Provedbom testa unilateralnog dubinsko-daljinskog skoka koji daje uvid u promjene živčano-mišićnih funkcija (eksplozivna jakost i maksimalna jakost) nisu dobivene statistički značajne razlike između inicijalnog i finalnog mjerenja u obje eksperimentalne skupine niti su utvrđeni rezidualni učinci, dok su ispitanici bilateralne skupine u testu ravnoteže ostvarili statistički značajan napredak, odnosno došlo je do smanjenja oscilacija mjernog uređaja u medio-lateralnom smjeru. U konačnici nije opažen nijedan statistički značajan interakcijski učinak između faktora vremena mjerenja i trenažne intervencije koji bi ukazivao da je jedna trenažna intervencija bolja ili lošija od druge, već se primjećuje da su oba trenažna tretmana imala vrlo slične učinke.

## 5.1. Učinci bilateralnog i unilateralnog vježbanja na izvedbu skoka u vis

Rezultati istraživanja ukazuju na statistički značajne pozitivne učinke obje trenažne intervencije. Rasprava će se u ovom poglavlju usmjeriti na transfer motoričkih vještina kroz postignuti rezultat skoka u vis i varijablu trajanja kontakta stopala s podlogom (faza odraza).

Prema dostupnim istraživanjima koja se bave učincima bilateralne integracije u unilateralnoj disciplini autori Focke i sur. (2016) utvrdili su statističko značajno poboljšanje u rezultatima ispitanika koji su bili pod bilateralnom trenažnom intervencijom u izvedbi skoka u dalj dominantnom nogom (završno mjerenje 5,2 %, retencija 7,4 %) u odnosu na grupu koja je trenirala isključivo odraznom nogom (završno mjerenje 3,4 %, retencija 4,5 %). U istraživanju je sudjelovao šezdeset i jedan ispitanik u dobi od šest do trinaest godina. Autori dobivene rezultate objašnjavaju kroz teorijske modele „bilateralnog pristupa” i model „ukrižene aktivacije”, ali bez jasnih smjernica o tome kako su modeli doprinijeli ovakvom rezultatu. Na temelju utvrđenih rezultata istraživanja autori naglašavaju važnost primjene bilateralnog treninga, odnosno uključivanje obje strane tijela u jednostranim disciplinama kod mladih atletičara. Haaland i Hoffa (2003) također ukazuju na benefite bilateralne integracije. Utvrdili su pozitivne učinke vježbajući nedominantnom nogom na izvedbu dominantne noge u driblingu, šutu i specifičnom nogometnu zadatku. Rezultate objašnjavaju kroz generalno poboljšanje motoričkih programa ili kroz pristup dinamičkog sustava (eng. *Dynamic Systems Approach*) koji ukazuje na to da je aktualni trening povezan s primjenom svih informacija koje su dostupne subjektu u situaciji i da tijelo samoorganizira motoričku izvedbu. Teixeira, Silva i Carvalho (2003) svoje nalaze u poboljšanju izvedbe specifičnih nogometnih zadataka dominantnom nogom nakon bilateralne trenažne intervencije objašnjavaju kognitivnim procesom interlateralnog transfera motoričkog učenja. Rezultati istraživanja provedenog za potrebe ovog doktorskog rada u suglasju su sa zaključcima Fockea i sur. (2016), Haalanda i Hoffaa (2003), Maurer (2005) i Teixeire i sur. (2003). Nalazi navedenih autora upućuju na mnogobrojne motoričke benefite i redukciju lateralnih asimetrija u primjeni nedominantnog ekstremiteta. Postoje istraživanja o bilateralnom vježbanju koja također utvrđuju dobrobiti kod adolescenata i mlađih odraslih u gornjim ekstremitetima (Maurer, 2005; Stöckel i sur., 2011; Stöckel i Weigelt, 2012). Nadalje, pozadinski mehanizmi koji bi mogli objasniti poboljšanje u rezultatima jesu različiti metodički pristupi u trenažnim intervencijama. Osim što se u bilateralnoj skupini raspodijelio volumen opterećenja na lijevi i desni donji ekstremitet, o čemu će se više raspravljati u sljedećem poglavlju, izvedba specifičnih vježbi

skokova izvodila se u drugačijim trenažnim uvjetima u odnosu na unilateralnu skupinu. Zapravo, radi se o otežanim trenažnim uvjetima jer se vježbanje provodilo i nedominantnom stranom tijela, odnosno prilazak trenažnim pomagalicama izvodio se sa suprotne strane od uobičajene. Takvi uvjeti mogu povoljno utjecati na unapređenje koordinacije i percepcije motoričkog zadatka koji se manifestiraju u izvedbi skoka u vis dominantnom stranom tijela.

Faza odraza definira se kao razdoblje između prvog kontakta stopala (odrazne noge) s podlogom i trenutka napuštanja stopala odrazne noge s podloge (Čoh i Supej, 2008; Dapena, 1980) s ciljem maksimalno brze i eksplozivne izvedbe. U fazi odraza kao presudnom faktoru uspješnosti skoka u vis (Antekolović, Antekolović i Jularić, 2009; Jacoby i Fraley, 1995; Dapena, 1980) dolazi do transformacije, odnosno iskorištavanja potencijala horizontalne brzine u vertikalnu koja se javlja kao posljedica sile reakcije podloge. U varijabli kontakta stopala s podlogom pri izvedbi skoka u vis prekoračnom tehnikom (T\_ODRAZ\_VIS) obje su eksperimentalne skupine ostvarile napredak u prosječnom rezultatu, no nije dobivena značajna interakcija vremena mjerenja i eksperimentalne skupine na rezultat ( $F_{(1,46,102,11)} = 0,23$ ,  $p > ,05$ ), što bi ukazalo na razliku o utjecaju eksperimentalnih tretmana na rezultat. Napredak rezultata u varijabli T\_ODRAZ\_VIS podrazumijeva kraće trajanje kontakta stopala s podlogom, odnosno da se faza odraza izvela brže. Ispitanici bilateralne skupine (ES1) su u završnom mjerenju poboljšali rezultat za 2,88 %, a u retenciji za 3,63 % u odnosu na inicijalno mjerenje. Ispitanici unilateralne skupine (ES2) također su prosječno poboljšali rezultat u završnom mjerenju za 2,48 %, a u retenciji za 2,26 % u odnosu na inicijalno mjerenje. U pozadini napretka prosječnih rezultata mogu biti pozitivni transferi koji su se dogodili pri vježbanju specifičnih vježbi skokova, a manifestirali su se pri izvedbi skoka u vis. Izgleda da su obje eksperimentalne skupine imale sličan učinak na obje promatrane varijable uz blago veći utjecaj bilateralne trenažne intervencije. Faktor koji je mogao utjecati na bolji ishod jest i činjenica da su djeca s većom razinom sigurnosti prilazila letvici nakon trenažnih intervencija. U fazi zaleta, odnosno u trenutku kada se određenom brzinom prilazi letvici, nerijetko se kod djece stvara osjećaj straha od letvice kojeg se uz pravilan pristup i uvježbavanjem zadatka mogu lako riješiti. Osjećaj sigurnosti u fazi zaleta posljedično može rezultirati većom horizontalnom brzinom, a samim time bržim odrazom i kvalitetnijom izvedbom. Upravo Dapena (2002) navodi da se za vrijeme odraza horizontalna brzina transformira u vertikalnu brzinu, što određuje uspješnost skoka. Pozadinski mehanizam koji je također mogao pridonijeti prosječno bržem odrazu jest promjena u načinu postavljanja stopala na podlogu, tj. dolazak na odraz preko pete podrazumijevao bi duže trajanje s podlogom, a postavljanje stopala na podlogu preko punog stopala (istovremeno cijelom površinom stopala)



ili preko prednjeg dijela stopala kraće, a moguće je da se dogodio spoj obaju navedenih faktora. U skladu s navedenim pretpostavkama, utvrđenim rezultatima i definicijama motoričkog učenja može se zaključiti da se dogodio pozitivan učinak procesa motoričkog učenja, odnosno da se unaprijedila razina motoričkih znanja trčanja zaleta, odraza i prelaska preko letvice. Ponavljanje dinamičkih stereotipa kretanja dovodi do usavršavanja struktura gibanja koje omogućuju njihovu efikasnu izvedbu (Lorger, Hraski i Hraski, 2012; Milanović, 2010).

Suprotno od dosad prikazanih istraživanja i suprotno rezultatima izračunanim u ovom istraživanju, Marinsek (2005) je utvrdio da ispitanici koji su vježbali s dominantnim ekstremitetom najviše mogu umanjiti lateralnu asimetriju i postići najveće ukupno poboljšanje pri izvedbi vođenja lopte rukom i nogom po pravocrtnoj liniji iako se poboljšanje u smanjenju lateralne asimetrija uočilo i u skupini koja je trenirala nedominantnim ekstremitetom. Autor rezultate objašnjava kroz prijenos ukrižene edukacije te naglašava da je pri učenju složenijih motoričkih vještina važno uključiti primjenu obaju ekstremiteta. Međutim, treba uzeti u obzir da se istraživanje provodilo s djecom predškolske dobi, što može upućivati na varijabilnosti u rezultatima testiranja. Zanimljivo, ekstenzitet opterećenja navedenog istraživanja jednak je kao i u ovom istraživačkom radu te uključuje dvadeset i četiri trenažne jedinice.

U skladu s prvom hipotezom ovog istraživačkog rada može se pretpostaviti da je uslijed bilateralnog treninga došlo do poboljšanja motoričkog izlaza, odnosno da se prijenos vještina dogodio u oba smjera, što je u skladu s novijim istraživanjima (Stockinger i sur., 2015; Carroll, de Ruy, Howard, Ingram i Wolpert, 2016). Avinah Bhise i Kishor Patil (2016) navode da dolazi do aktivacije obiju moždanih polutki kada se zadaci izvode s obje strane tijela, a Fazlioglu i Gunsen (2011) smatraju da pokreti koji aktiviraju obje moždane polutke, kao što je to slučaj u ovom istraživanju, dovode do razvoja bilateralne koordinacije, razvoja taktilnih, vestibularnih i proprioceptivnih osjeta te motoričkog planiranja. Također, važno je naglasiti da se prijenos vještina dogodio u smjeru s dominantne na ipsilateralnu stranu u skupini koja je bila pod utjecajem unilateralne intervencije, dok se ostali smjerovi nisu promatrali.

## 5.2. Učinci bilateralnog i unilateralnog vježbanja na živčano-mišićne funkcije

Biomehaničkim pristupom vrednovanja i analize funkcije lokomotornog sustava, dobiva se detaljniji uvid izvođenja velikog broja jednostavnih i složenih kretnih struktura te procesa njihova usvajanja i uvježbavanja (Antekolović, Kasović i Marelić, 2006). Kinetički pristup na temelju kinetičkih varijabli poput: sile reakcije podloge, brzine razvoja sile, mehaničke snage, impulsa sile i segmentalne kinetike omogućava evaluaciju skakačkih sadržaja (Baković, 2016).

Učinci pliometrijskog treninga odnose se na mišićno-koštane adaptacije, mišićno-tetivni sustav i zglobne adaptacije, neuralne adaptacije, mišićnu funkciju, razvoj kondicijskih sposobnosti te zdravlje pojedinca (Arabatzis, 2016; Jezdimirović, Joksimović, Stanković i Bubanj, 2013, Marković i Mikulić, 2010, Saez-Saez De Villarreal, Requena, Newton, 2010; Marković, Jukić, Milanović i Metikoš, 2007). U ovom istraživanju primjenjivali su se skokovi koji pripadaju specifičnim vježbama skoka u vis te se uklapaju u sustav pliometrije kao jednu od najčešće primjenjivanih metoda u treningu za razvoj eksplozivne jakosti, i to posebno vertikalne skočnosti (Marković i Mikulić, 2010). Dosadašnja istraživanja potvrđuju da pliometrijske vježbe dovode do pozitivnih prilagodbi u smislu proizvodnje snage, maksimalne jakosti, skokova i agilnosti (Arnason i sur., 2004; Johnson, Salzberg i Stevenson, 2011; Saez-Saez De Villarreal i sur. 2010; Marković, 2007; Asadi, Arazi, Young, Sáez de Villarrea, 2016; Williams i sur., 2008), a kod djece bi se učinci pliometrijskog treninga trebali vidjeti u boljoj izvedbi i većoj produkciji sila uz uvjet da se vježbe provode u sigurnim uvjetima (Faigenbaum i Chu, 2001; Ramirez-Campillo i sur., 2018; Ramirez-Campillo i sur., 2019).

U skladu s navedenim, primjenom specifičnih vježbi skoka u vis (pliometrijski trening) očekivali su se adaptacijski pokazatelji u području eksplozivne jakosti, maksimalne jakosti i statičke ravnoteže. Nakon provedenih trenažnih intervencija eksperimentalna skupina koja je vježbala lijevim i desnim donjim ekstremitetom (bilateralni trening) ostvarila je poboljšanje, odnosno došlo je do statistički značajnog smanjenja prosječne translacije mjernog uređaja u medio-lateralnom smjeru (13,23 %) dok su ostali parametri ostali nepromijenjeni. Očekivane promjene testirale su se izvedbom dubinsko-daljinskog skoka s dominantnom nogom, a proučavali su se sljedeći parametri: maksimalna sila reakcije podloge u ekscentričnoj i koncentričnoj fazi odraza, brzina razvoja sile, trajanje odraza, trajanje

ekscentrične faze odraza i trajanje koncentrične faze odraza. Dubinsko-daljinski skok predstavlja ekscentrično-koncentrični mišićni režim rada (eng. *stretch-shortening cycle, SSC*). Preciznije, koncentričnoj kontrakciji mišića (skraćivanju mišića) prethodi ekscentrična kontrakcija (predistezanje mišića), gdje dolazi do povećane sposobnosti živčanog i mišićno-tetivnog sustava za generiranje maksimalne sile u što kraćoj vremenskoj jedinici, kao poveznici između brzine i jakosti (Chmielewski, Myer, Kauffman, Tillman, 2006; Baković, 2016). Ekscentrična faza započinje postavljenjem stopala na podlogu do trenutka maksimalne amortizacije u zglobu koljena odrazne noge. Koncentrična faza započinje opružanjem, tj. ekstenzijom u zglobu koljena i traje dok stopalo odrazne noge ne napusti podlogu. Da bi se ostvarila svrha dubinsko-daljinskog skoka, a to je razvoj mišićne sile pri odrazu, odnosno udarna stimulacija mišića ili pliometrijsko naprežanje, dovoljno je korištenje kinetičke energije ispitanika akumulirane pri slobodnom padu s određene, unaprijed definirane visine, a u ovom istraživanju visina saskoka iznosila je 13,5 cm. Baković (2016) navodi da se brzi SSC skokovi (< 250 ms) smatraju visokointenzivnim skokovima zbog značajno viših prosječnih vrijednosti u vršnim silama reakcije podloge i vršnim gradijentom sile u odnosu na ostale vrste skokova. Johnson i sur. (2011) navode da se unaprijed određena razina jakosti kao i vježbanje na odgovarajućim površinama smatraju preduvjetima za sudjelovanje mladih u pliometrijskim programima vježbanja. Stoga je važno napomenuti da su djeca u ovom istraživanju prije trenažne intervencije bila upoznata sa strukturom vježbi, da imaju trenažno iskustvo s obzirom na to da se istraživanje provodilo od ožujka, što predstavlja sredinu trenažnog ciklusa, i da su se sve vježbe provodile na atletskoj podlozi uz nadzor stručnjaka, čime su se osigurali uvjeti za smanjenje rizika od mogućih ozljeda.

Izvedba unilateralnog dubinsko-daljinskog skoka s pomoću platforme za mjerenje sile reakcije podloge primjenjuje se za utvrđivanje eksplozivne i maksimalne jakosti ispitanika, a s obzirom na to da predstavlja isti režim mišićnog rada (SSC) kao i izvedba skoka u vis, dobar je pokazatelj nastalih živčano-mišićnih promjena i interpretacije. Usto, svojom strukturom sličan je uobičajenim pokretima koji se primjenjuju u sportu i spontanoj igri kod djece. Prema autoru dostupnoj literaturi dosadašnja istraživanja o kontralateralnim učincima praćenim kinetičkim signalima kod djece nisu pronađena. Istraživanje Bakovića, Ljubičić i Antekolovića (2019) bavilo se kinetičkim razlikama prema spolu tijekom izvedbe unilateralnog dubinsko-daljinskog skoka kod djece u kronološkoj dobi od osam i devet godina. Mjerile su se maksimalna proizvedena sila u ekscentričnoj i koncentričnoj unilateralnoj mišićnoj aktivnosti te maksimalna brzina razvoja sile. Rezultati su pokazali da

nema statističke značajne razlike u razvoju kinetičkih sila prema spolu. S druge strane, istraživanje McKaya i sur. (2005) utvrdilo je da razlike prema spolu postoje u varijabli maksimalne proizvedene sile, ali nemaju obrazloženje zašto su dobili takav nalaz jer se djeca nisu posebno razlikovala u pogledu morfoloških, anatomskih i fizioloških karakteristika, pa čak ni u izboru slobodnih aktivnosti. U radu Arabatzia (2016) pliometrijska trenažna intervencija trajala je četiri tjedna, a statistički se značajno poboljšala izvedba vertikalnog skoka (CMJ i DJ) kod djece u prepubertetu. Rezultate pripisuju „principu specifičnosti treninga” jer su sve intervencijske vježbe uključivale komponentu skakanja koja je vrlo slična kretnim strukturama vertikalnog skoka, što nije u suglasju s rezultatima ovog rada.

Promjene koje su se dogodile u promatranim varijablama mogu se objasniti različitim pozadinskim mehanizmima. Većina istraživanja usmjerena je na analiziranje utjecaja pliometrije na koštani razvoj djece (Anliker, Dick, Rawer i Toigo, 2012; Gómez Bruton, MacKelvie, McKay, Khan, Crocker, 2001; Greene, 2006; Gómez Bruton, Matute-Llorente, González-Agüero, Casajús, Vicente-Rodríguez, 2017; McKay i sur. 2005; Weeks, Young, Beck, 2008; Witzke i Snow, 2000) jer je sila reakcije podloge povezana s hipertrofijom kostiju (Janz, Rao, Baumann i Schultz, 2003). Takva istraživanja provodila su se tijekom mnogo duljeg razdoblja da bi došlo do koštane adaptacije, a neka od njih polaze od „Mechanostatove teorije” (Anliker i sur., 2012; Gómez Bruton i sur., 2017) koja glasi da uslijed povećanja mišićne sile dolazi do razvoja kostiju, odnosno kost prilagođava svoja mehanička svojstva: koštanu masu i geometriju kostiju. Međutim, rezultati Anliker i sur. (2012) nisu pokazali takve adaptacije iako je utvrđena značajna korelacija među njima. Naposljetku zaključuju da promjena u proizvodnji mišićne sile ne mora biti povezana s promjenama u kostima, već jednostavno rast sam po sebi može izazvati takve promjene. Pittenger, McCaw i Thomas (2002) u svojem su istraživanju također povezali važnost gradijenta sile čija je uloga iniciranja procesa povezana s gustoćom kostiju. Važno je spomenuti i morfološku adaptaciju koja se odnosi na mišićnu hipertrofiju kod djece u prepubertetu, a glavnina uzorka ovog istraživanja jesu upravo djeca te dobi. Značajno je ograničena zbog rada hormonalnog sustava, odnosno nedovoljnog lučenja hormona testosterona i nezrelog živčano-mišićnog sustava (Williams i sur., 2008). Povezivanjem rezultata tog istraživanja s prethodnim navodima može se pretpostaviti da program u trajanju od dvanaest tjedana nije mogao dovesti do promjena u mehaničkim svojstvima kostiju, a ograničeno lučenje hormona koji su odgovorni za mišićni razvoj nije moglo dovesti do značajnije proizvodnje mišićnih sila. No imajući u vidu dosadašnja istraživanja koja ukazuju

da se provedbom pliometrijskog treninga u radu s djecom može poboljšati brzina pokreta i produkcija sile (Diallo i sur., 2001; Kotzamanidis, 2006; Meylan i Malatesta, 2009; Saez-Saez De Villarreal i sur., 2010), nastavlja se s razmatranjem mogućih razloga zašto nije došlo do očekivanih promjena u razvoju eksplozivne i maksimalne jakosti.

Nadalje, jedan od važnijih faktora povezanih s razvojem eksplozivne i maksimalne jakosti jest ukupno opterećenje (volumen rada). Volumen rada definira se dvjema komponentama: prva se odnosi na energetska komponentu opterećenja (intenzitet i ekstenzitet), a drugu čini informacijska komponenta opterećenja (motoričko učenje). Sastavnica koja se odnosi na ekstenzitet opterećenja (ukupan broj kontakta stopala s podlogom) u ovom istraživačkom radu bila je usklađena s dosadašnjim istraživanjima (Diallo i sur., 2001; Kotzamanidis, 2006; Meylan i Malatesta, 2009; Brito-Almeida, Da Rocha Queiroz, Pessôa dos Prazeres, Carneiro, 2020). Isto vrijedi i za trajanje trenažnog programa. Međutim, intenzitet vježbanja koji se odnosi na produkciju sile i brzine izvođenja zadataka mogao je biti varijabilan s obzirom na broj djece u grupi. Iako su treninge provodili licencirani stručnjaci iz područja atletike, broj djece u većini skupina nije bio u skladu s pedagoškim standardom (cca 1 : 20). Velik broj djece u grupi može se odraziti na slabiju kvalitetu rada, što ujedno može rezultirati manjim intenzitetom izvedbe pojedinog zadatka. Iako uputa trenera jest da se skokovi izvode maksimalno brzo uz kratak kontakt s podlogom uz demonstraciju zadatka, autorica smatra da jedna osoba ne može jednako pažljivo pratiti tako velik broj djece. Manca i sur. (2021) u svojem istraživanju navode da bi značajni učinci prijenosa jakosti trebali biti vidljivi između trinaestog i osamnaestog treninga (triput tjedno), dok za prijenos vještina nema usuglašenog odgovora. Kad je riječ o strategijama povećanja prijenosa, isti autori prvenstveno navode povećanje trenažnog intenziteta, a zatim zrcalne iluzije (eng. *mirror illusion*) i ekscentrične akcije. U skladu s navedenim može se primijetiti da trenažni protokol ovog istraživanja nije uključivao strategije zrcalne iluzije i isključivo ekscentrične akcije, što ostavlja prostor za neka buduća istraživanja. S prethodnim navodima o treningu ekscentričnih kontrakcija slažu se Miller i sur. (2006) koji navode da takav trening može poboljšati vršni moment sile, vrijeme za postizanje vršnog momenta sile i vrijeme ubrzanja. Dankel, Kang, Abe, Loenneke (2019) navode da je poboljšanje motoričkog izlaza (tj. performansi u mišićnoj jakosti i/ili motoričkim vještinama) rezultat ili strukturnih prilagodbi (tj. mišićna hipertrofija) ili funkcionalne prilagodbe (živčana adaptacija). Konkretno, živčana adaptacija uzrokovana pliometrijskim treningom odnosi se na frekvenciju aktiviranih motoričkih jedinica za mišiće agoniste, (eng. *neural drive*), poboljšanju

međumišićne koordinacije, promjene u mehaničkim karakteristikama mišićno tetivnog sustava plantarnih fleksora, promjenama u veličini mišića i mehanici rada mišićnog vlakna (Marković, Mikulić, 2010). Informacijska komponenta opterećenja povezana je s procesima učenja i poučavanja motoričkih znanja. Stoga, nepromijenjeno generiranje sila pri izvedbi dubinsko-daljinskog skoka može biti posljedica promjene u obrascu tehničke izvedbe. Gajewski, Janiak, Elias, Krawczyk, Wit (1996) i Bartosiewicz (1989) navode da su promjene u kutu zgloba koljena i vrijeme trajanja kontakta stopala s podlogom važni parametri za produkciju izlaznih sila. Bartosiewicz (1989) navodi da smanjenje (redukcija) kuta u zglobu koljena u fazi odraza i skraćivanje vremena odraza mogu rezultirati smanjenim impulsom sile i vremena u ispoljavanju sile, što bi donekle moglo objasniti rezultate ovog istraživanja. U istom istraživanju autor navodi da su se rezultati najviših skokova postigli s vrlo raznolikim kinematičkim parametrima. Važno je navesti još jedan faktor koji se javlja kod SSC-a, a može utjecati na razvoj sile. Radi se mišićnoj predaktivaciji i podrazumijeva aktivnu dorzalnu fleksiju u fazi leta, neposredno prije kontakta stopala s podlogom. Dukarić (2016) navodi da mišićna predaktivacija omogućava bržu mišićnu reakciju, odnosno dolazi do efikasnijeg iskorištavanja elastičnog potencijala mišićno-tetivnih struktura te „refleksa istezanja”, ali i da može smanjiti rizik od ozljede. Miotatički refleks (eng. *the stretch reflex*) koji osim svoje primarne uloge mehanizma sigurnosti omogućuje da se kontrakcija mišića odvija mnogo brže nego što to organizam može svjesno učiniti (Dodig, 2002). Može se pretpostaviti da ispitanici ovog istraživačkog rada vjerojatno nisu iskorištavali mišićnu predaktivaciju tijekom izvedbe unilateralnog dubinsko-daljinskog skoka iz dva razloga. Prvi je da djeca ni od trenera ni od mjerioca tijekom testiranja nisu dobila povratnu informaciju da izvode predaktivaciju tijekom trenažnog tretmana. Drugi razlog odnosi se na kratko vrijeme slobodnog pada od visine saskoka do platforme; djeca u ovoj fazi naučenog znanja nisu imala dovoljno vremena za pripremu. Antekolović i sur. (2006) navode da trajanje kontakta stopala s podlogom ovisi o pripremi mišićne predaktivacije odrazne noge u smislu aktivnog postavljanja odrazne noge na podlogu. Isti autori navode da trajanje kontakta s podlogom duže od 254 ms može biti rezultat postavljanja stopala na podlogu naglašeno preko pete, što produljuje ekscentričnu fazu mišićne kontrakcije, a ujedno i ukupno trajanje odraza. Ispitanici ovog istraživanja prosječno su skratili ukupno trajanje kontakta stopala s podlogom, što može upućivati na zaključak da je došlo do napretka u proizvodnji sila. No vršne sile ostale su nepromijenjene, ali ako se promatraju promjene u prosječnim vrijednostima, može se primijetiti da je došlo do produljenja trajanja ekscentrične faze odraza i kraćeg trajanja koncentrične faze, što je u konačnici rezultiralo ukupno kraćim trajanjem odraza (obje

skupine ES  $t_{\text{CONT}} > 250$  ms). Stoga se može pretpostaviti da zbog potencijalnog nedostatka mišićne predaktivacije i eventualnog postavljanja stopala preko pete nije moglo doći do učinkovite iskoristivosti kinetičke energije koja bi dovela do promjena u vrijednosti proizvodnje sile, a prosječno kraći kontakt stopala s podlogom može se razmatrati kroz dva međupovezana faktora. Promatrajući rezultate obje eksperimentalne skupine, utvrđeno je da se skratila koncentrična faza odraza (ES1:  $t_{\text{con}} = 233,29$  ms u odnosu na 226,00 ms; ES2:  $t_{\text{con}} = 241,69$  ms u odnosu na 231,75 ms) koja podrazumijeva propulzivnu fazu, odnosno došlo je do bržeg odguravanja te se zbog toga skratilo ukupno vrijeme kontakta, što bi moglo upućivati na promjene u sposobnostima. Međutim, drugi faktor odnosi se na pretpostavku da se obrazac izvedbe dubinsko-daljinskog skoka kod djece promijenio. Takva promjena može biti rezultat redukcije kuta u zglobu koljena ili čak snažnijeg/bržeg odguravanja s mjesta saskoka. Brže odguravanje s mjesta saskoka može rezultirati bržom horizontalnom brzinom, a samim time i bržim odrazom. Antekolović, Baković i Dukarić (2019) također navode da aktivna dorzalna fleksija i trajanje odraza mogu značajno utjecati na kraće trajanje odraza (oko 30 %) i proizvodnju veće sile reakcije podloge (oko 20 %), ali treba uzeti u obzir da se u istraživanju navedenih autora radi oiskusnim sportašima. Marković, Vuk i Jarić (2011) navode da je zbog ukupnog manjeg opterećenja sile koncentričnu fazu skoka moguće brže realizirati te da se na temelju odnosa sile i brzine može zadovoljiti princip maksimalnog dinamičkog izlaza gdje se unaprijedila izvedba, prije svega vertikalnog skoka, a rezultat je promijenjenog skakačkog obrasca uz poboljšanu funkciju mišićnih ekstenzora donjih ekstremiteta. Kinetičke varijable potrebno je promatrati kombinirano da se ne bi izgubile informacije o mogućim objašnjenjima ostvarenih rezultata.

Prema svemu navedenom, rezultati nisu pokazali statistički značajne promjene u eksplozivnoj i maksimalnoj jakosti, ali se ne smije zanemariti praktični značaj poboljšanih prosječnih vrijednosti, posebno u trajanju kontakta stopala s podlogom. Primjerice, na razini vrhunskih sprintera poboljšanje od samo jedne desetinke pri jednom kontaktu stopala s podlogom u konačnici, kad se zbroje svi koraci, podrazumijeva vrlo značajan praktični napredak. Pretpostavlja se da je primjena SVS-a (pliometrijski trening) poboljšala kvalitetu ciklusa izduživanja i skraćivanja mišića ispitanika (ekscitabilnost mišićne mase), povećala se frekvencija uključivanja motoričkih jedinica, što rezultira boljom motoričkom kontrolom i međumišićnom koordinacijom, a u konačnici je došlo do poboljšanja u manifestaciji skoka u vis. Također je važno naglasiti da SVS pripada metodičkim vježbama za učenje discipline skoka u vis pa se vjerojatno i zbog te činjenice dogodio transfer znanja zbog sličnosti

motoričke strukture gibanja. Prepubertetsko razdoblje smatra se poželjnim razdobljem za motoričko učenje. Uzelac-Šćiran (2021) navodi da je to razdoblje idealna dob za poboljšavanje rezultata skakačkih (pliometskih) i sprinterskih izvedbi zbog činjenice da se radi o razdoblju sazrijevanja centralnog živčanog sustava i proliferacije (uzastopno stvaranje novih stanica) u živčanoj koordinaciji. Isto potvrđuju Othman i sur., (2018) koji zaključuju da se napredak u mišićnoj jakosti u kontralateralnim i ipsilateralnim ekstremitetima kod djece događa najviše zbog adaptacija središnjeg živčanog sustava u odnosu na odrasle.

Test unilateralnog dubinsko-daljinskog skoka predstavlja dinamičku translaciju tijela za čiji su uspjeh najviše odgovorni jakost i snaga donjih ekstremiteta, a bolje performanse mogu se očekivati kod djece s većom razinom ravnoteže i stabilnosti (Othman i sur., 2019). Isti autori u svojem su istraživanju uvidjeli da u testu troskoka s mjesta u 75 % slučajeva stečena jakost i snaga neće biti vidljive kod djece s nedostatnom razinom ravnoteže ili stabilnost jer troskok prema strukturi kretanja pripada dinamičkoj translaciji tijela gdje, osim jakosti i snage donjih ekstremiteta, ključnu ulogu imaju ravnoteža i stabilnost kako bi zadatak bio uspješno izveden. Istraživanja potvrđuju da nestabilnost narušava silu, snagu, kutnu brzinu i amplitudu pokreta (Behm i Anderson, 2006; Drinkwater, Pritchett i Behm, 2007; Behm, Drinkwater, Willardson i Cowley, 2010).

Procjenom unilateralne statičke ravnoteže odrazne noge željelo se ustanoviti je li došlo do promjena u živčano-mišićnoj funkciji, što bi se očitovalo u boljoj sposobnosti održavanja ravnoteže specifičnim mehanizmima adaptacije. Učinci specifičnih vježbi skoka u vis na statičku ravnotežu promatrali su se s pomoću dvije varijable promatrane kroz translaciju mjernog uređaja u medio-lateralnom i antero-posteriornom smjeru. Skupina ES1, koja je primjenjivala bilateralni trening, u završnom mjerenju značajno je smanjila prosječnu putanju oscilacije mjernog uređaja u medio-lateralnom smjeru (13,23 %) u odnosu na početno mjerenje. Održavanje ravnoteže predstavlja neprekidne interakcije između senzornih receptora, procesiranja informacija u središnjem živčanom sustavu i motoričkog izlaza (Trošt Bobić, 2012). Neuronske prilagodbe mogu povećati performanse jačanjem živčanog sustava koji postaje automatiziraniji. Mnoge pliometske vježbe sadržavaju bočne obrasce kretanja koji aktiviraju mišiće i živčane putove koji sudjeluju u stabilizaciji kuka, koljena i gležnja. Provedene SVS vježbe potiču živčano-mišićni sustav koji kontrolira koordinaciju i ravnotežu. Iako viša razina unilateralne statičke ravnoteže može upućivati na veću razinu jakosti mišića potkoljenice stajne noge, ona nije jedini faktor uspješnosti. Ravnoteža ovisi o integraciji



proprioceptivnih i vestibularnih upravljačkih struktura kako bi se omogućilo održavanje ekvilibrija unatoč stalnim perturbacijama (Behm i sur., 2017).

Dosadašnja istraživanja uglavnom su bila usmjerena na utjecaje treninga ravnoteže na posturalnu kontrolu uz različite metode rada, vrstu podloge i različite dobi ispitanika, što otežava usporedbe rezultata studija. Istraživanje Distefano i sur. (2010) utvrdilo je da trening ravnoteže poboljšava posturalnu kontrolu kod djece, dok Granacher, Muehlbauer, Maestrini, Zahner, Gollhofer (2011) nisu zabilježili poboljšanje posturalne kontrole kod djece od šest i sedam godina. Rezultat skupine ES1 slaže se s rezultatima Myer, Ford, Mclean i Hewett (2006) gdje se utvrdio napredak u amplitudi ML\_L smjera, ali bez promjena u stabilnosti u amplitudi antero-posteriornog smjera. Autori navode da razlog nepromijenjene stabilnosti antero-posteriornog smjera nije potpuno razumljiv. Nasuprot tome, istraživanje Arabatzia (2016) pokazalo je poboljšanje u stabilnosti antero-posteriornog smjera, ali bez poboljšanja u medio-lateralnom smjeru, s čime se slažu istraživanja Distefano i sur. (2010) i Ramirez-Campillo, Andrade, Izquierdo (2013), ali nakon treninga ravnoteže. Arabatzi (2016) je u svojem istraživanju utvrdio da se nakon četiri tjedna pliometrijske intervencije na minitrampolinu poboljšala posturalna ravnoteža i izvedba vertikalnog skoka kod djece u prepubertetu. Nakon trenažne intervencije ispitanici su ostvarili značajno poboljšanje u medio-lateralnom i antero-posteriornom smjeru. Dobivene rezultate objašnjavaju kroz karakteristike elastične površine (poput minitrampolina) koje posebno učinkovito unapređuju ravnotežu jer su dijelovi takve opreme visokointegrativni i zahtjevni za živčano-mišićni sustav. Rezultati ovog istraživanja sugeriraju da je poboljšanje statičke ravnoteže u medio-lateralnom smjeru bilateralne skupine posljedica izbora SVS-a koji je također uključivao obrasce kretanja u medio-lateralnom smjeru u većoj mjeri nego u antero-posteriornom smjeru. Pretpostavlja se da je došlo do živčano-mišićnih prilagodbi jer se radi o sličnoj strukturi pokreta. Do sličnih su rezultata došli Witzke i Snow (2000) gdje su ispitanici nakon pliometrijskog treninga unaprijedili statičku ravnotežu u medio-lateralnom smjeru za 38,1 % u odnosu na kontrolnu skupinu. Treba uzeti u obzir da su ispitanici bili uključeni u trenažni program devet mjeseci. Zaključuju da se nakon dužeg i kontinuirane primjene pliometrijskog treninga može utjecati na povećanje koštane mase.

Čini se da integracija obiju strane tijela (donjih i gornjih ekstremiteta) može imati značajne benefite u sportu iz više razloga. Transfer znanja uzrokovan bilateralnim vježbanjem može prevenirati porast lateralne asimetrije. To saznanje osobito je važno i za sportske igre

gdje se mogu smanjiti razlike između dominantne i nedominantne strane, čime se ostvaruje prednost u ključnim trenucima. Prema istraživanjima vježbanje nedominantne strane može unaprijediti izvedbu dominantne strane, a također se sve više primjenjuje u rehabilitacijske svrhe. Međutim, i dalje ostaje nejasno kako teorijski modeli mogu objasniti korist bilateralnog vježbanja u skoku u vis jer se te teorije uglavnom temelje na studijama koje uključuju jednostavne zadatke kretanja većinom gornjih ekstremiteta te je pitanje prenosi li se isto na složenija motorička znanja, uključujući donje ekstremitete.

Rezultati ovog istraživanja sugeriraju da za isti napredak u rezultatu skoka u vis nije potrebno opterećivati uvijek istu stranu tijela, već se raspodjelom opterećenja (broj kontakata stopala s podlogom) na lijevi i desni donji ekstremitet može ostvariti isti rezultat u skoku u vis prekoračnom tehnikom. Prema Almeidi i sur. (2020) pliometrijske vježbe kod djece dovode do prilagodbi koje ovise o neuromotoričkoj plastičnosti. Prema tome, može se zaključiti da su djeca primjenom SVS-a imala veću korist u smislu boljeg transfera vještina koje dominiraju u disciplini skoka u vis u odnosu na povećanje eksplozivne ili maksimalne jakosti. U literaturi postoji vrlo ograničen broj istraživanja koja se bave utjecajem pliometrijskog treninga kod djece u pretpubertetu (Marković, 2007; Saez-Saez De Villarreal i sur. 2010), stoga su potrebna dodatna istraživanja da bi se utvrdio odgovor djece na pliometrijski trening. Međutim, važno je pritom naglasiti da provođenje pliometrijskog treninga s djecom treba biti pomno planiran i programiran kako bi se zadovoljili sigurnosni uvjeti. U preglednom radu Johnson, Salzberg i Stevenson (2011) navodi se da je pliometrijski trening za djecu siguran kada roditelji daju pristanak, djeca pristanu sudjelovati, a sigurnosne smjernice su ugrađene u intervenciju, što je ujedno i napravljeno u ovom istraživačkom projektu. Osim toga i dalje su aktualne studije koje istražuju silu sunožnog ili jednonožnog skoka kod djece (Musyriyah, Krasilshchikov, Shaw, O. i Shaw, B.S., 2014, Briem, Vala Jo' nsdottir, Arnason i Sveinsson, 2017, Dallas, Pappas, Ntallas, Paradisis i Exell, 2020, Dukarić i sur., 2021). Može se pretpostaviti da su ispitanici pod utjecajem treninga u objema eksperimentalnim skupinama unaprijedili tehničku izvedbu skoka u vis. Povećao se osjećaj sigurnosti pri izvedbi skoka, što je ujedno moglo rezultirati većom horizontalnom brzinom faze zaleta i prosječno kraćim trajanjem odraza. Nadalje, nepromijenjeno generiranje sila pri izvedbi dubinsko-daljinskog skoka također može biti posljedica promjene u obrascu tehničke izvedbe (promjene kuta u zglobu gležnja ili koljena) ili neiskoristivog mehanizma mišićne predaktivacije. Zanimljivo je da ovo otkriće ukazuje na to da se opterećenje može smanjiti za čak 50 % na dominantnoj nozi (ovisno o trenažnom razdoblju), odnosno da raspodjela opterećenja na lijevi i desni donji

ekstremitet omogućuje simetrične učinke u disciplini skoka u vis, ali i promatranim kinetičkim varijablama. Sa stručnog gledišta, takav pristup omogućuje razvoj sposobnosti koordinacije tijela u prostoru, simetričan razvoj jakosti, snage, dinamičke ravnoteže, a uporaba obje strana tijela važna je i za učenje novih i složenijih motoričkih kretnji.

### 5.3. Testiranje hipoteza

- Prva hipoteza H1 glasi: „*Ispitanici u tretmanu bilateralnog vježbanja poboljšat će rezultat skoka u vis, odrazom s dominantnom nogom u većoj mjeri u odnosu na ispitanike u tretmanu unilateralnog vježbanja*”. Nije utvrđena značajna interakcija vremena mjerenja i eksperimentalne skupine za varijablu visina skoka (REZ\_VIS). Dakle, nakon provedenih trenažnih tretmana, nema razlika u učinkovitosti jednog naspram drugog načina vježbanja za rezultat skoka u vis prekoračnom tehnikom i hipoteza se odbacuje.
- Druga hipoteza H2 glasi: „*Ispitanici u tretmanu bilateralnog vježbanja poboljšat će rezultate u maksimalnoj i eksplozivnoj jakosti odrazom s dominantne noge u većoj mjeri u odnosu na ispitanike u tretmanu unilateralnog vježbanja*”. Nije utvrđen statistički značajan interakcijski učinak između faktora vremena mjerenja i trenažne intervencije ni za jednu promatranu varijablu koja bi ukazala na to je li jedna trenažna intervencija bolja ili lošija od druge, može se zaključiti da su oba trenažna tretmana imala vrlo slične učinke te se hipoteza odbacuje.
- Treća hipoteza H3 glasi: „*Ispitanici u tretmanu bilateralnog vježbanja poboljšat će rezultat unilateralne ravnoteže na dominantnoj nozi u većoj mjeri u odnosu na ispitanike u tretmanu unilateralnog vježbanja*”. Nije utvrđena statistički značajna interakcija između faktora vremena mjerenja i eksperimentalne skupine za varijable ML\_L i AP\_L, stoga se hipoteza odbacuje. Iako analiza koja je provedena unutar skupina za varijablu ML\_L pokazala da su ispitanici ES 1 statistički značajno smanjili translaciju mjernog uređaja, a ispitanici ES 2 nisu, takve se razlike, pritom smatraju slučajnim.

## 5.4. Praktične preporuke

Ekscentrično-koncentrični mišićni režim rada karakterizira visokointenzivne skokove što stvara mogući rizik od ozljeda ako se treninzi s djecom ne provode prema unaprijed planiranom programu rada, stoga ovaj nalaz ima iznimnu praktičnu važnost u pogledu pliometrijskog treninga s djecom rane školske dobi. Uputno je raspodijeliti pliometrijska opterećenja na lijevi i desni donji ekstremitet da bi se smanjio moguć rizik od ozljeda i omogućio ravnomjeran mišićni i lokomotorni razvoj. U skladu sa spoznajama dosadašnjih istraživanja i ovog istraživanja bilateralno vježbanje poboljšava izvedbu nedominantne noge te reducira lateralnu asimetriju, a isto povećava izvedbu i dominantne noge u jednakoj mjeri kao i vježbanje samo s dominantnom nogom, tj. unilateralno vježbanje. Autorica preporučuje da se unilateralne atletske discipline svakako usavršavaju s obje strane tijela, posebno kod djece rane školske dobi. Važnost koordinacije obje strane tijela može pomoći u učenju novih i složenijih motoričkih znanja.

## 5.5. Prednosti i ograničenja istraživanja

Prednosti ovog istraživačkog rada jesu:

- mali broj studija bavio se istraživanjem utjecaja pliometrijske trenažne intervencije koja se odnosi na dominantne i nedominantne donje ekstremitete. S te je strane ovo istraživanje vrijedan doprinos literaturi jer se utvrdilo da se raspodjelom volumena opterećenja na donje ekstremitete pri izvedbi unilateralne discipline dosežu simetrični učinci
- osim praćenja visine skoka istraživanje je pratilo živčano-mišićne promjene suvremenom tehnologijom koja daje bolji uvid u funkcioniranje i reakcije tijela djece u dobi od sedam do dvanaest godina
- eksperimentalni program proveden je na temelju relevantnih istraživanja koja su dala sigurnosne smjernice pri provedbi trenažnih intervencija i pod vodstvom licenciranih atletske trenera
- detaljno su prikazani trenažni sumarni parametri: periodizacija, volumen opterećenja i primijenjeni sadržaji

Ograničenja ovog istraživačkog rada jesu:

- veliki raspon u godinama (7 – 12 godina)
- biološka dob nije procjenjivana
- validacija testova koji su se primjenjivali nije izvršena
- nedostatak kontrolne skupine ispitanika koja bi dodatno pokazala koliki je doista napredak trenirane i netrenirane djece te time isključio mogući biološki utjecaj
- tijekom trenažnih tretmana bilo je remetećih faktora, djeca su bila pod utjecajem različitih programa tjelesne i zdravstvene kulture
- nedostatak segmentalne kinetike i elektromiografije koje bi dodatno mogle doprinijeti boljem uvidu u razlike između eksperimentalnih skupina
- nedostatak utvrđivanja ostvarenih kontralateralnih efekata, odnosno testiranje i nedominantne noge koje bi omogućio bolji uvid u nastale promjene.

## 6. ZAKLJUČAK

Svrha ovog istraživačkog rada bila je utvrditi razlike u učincima bilateralnog u odnosu na unilateralno vježbanje primjenom specifičnih vježbi skoka u vis na izvedbu skoka u vis prekoračnom tehnikom i utvrditi nastale promjene u živčano-mišićnoj funkciji djece odrazom s dominantne noge. Pritom je živčano-mišićna funkcija procjenjivana zadacima dubinsko-daljinskog skoka i održavanja ravnoteže u stabilnim uvjetima. Uzorak ispitanika činila su sedamdeset i četiri djeteta kronološke dobi od sedam do dvanaest godina podijeljena u dvije eksperimentalne skupine. Tijekom eksperimentalnog postupka prva je eksperimentalna skupina vježbala s oba donja ekstremiteta, a druga samo sa svojom dominantnom (odraznom) nogom. Ispitanici su tijekom trenažnog tretmana provodili specifične vježbe skoka u vis raspoređenih prema složenosti i volumenu opterećenja.

Rezultati ovog istraživačkog rada pokazali su da se primjenom specifičnih vježbi skoka u vis kod obje eksperimentalne skupine mogu ostvariti značajni napreci u izvedbi skoka u vis prekoračnom tehnikom. Analiza koja je provedena unutar skupina pokazala je da su ispitanici u bilateralnom tretmanu vježbanja, u završnom mjerenju značajno poboljšali rezultat u skoku u vis za 6,70 %, a u retenciji za 5,37 % u odnosu na inicijalno mjerenje. Ispitanici koji su bili podvrgnuti tretmanu unilateralnog vježbanja su u završnom mjerenju i retenciji također značajno poboljšali rezultat za 6,32 %, u odnosu na inicijalno mjerenje. Međutim, nije utvrđena značajna interakcija između vremena mjerenja i eksperimentalne skupine. Dakle, nakon provedenih trenažnih tretmana, može se zaključiti da razlika u učinkovitosti načina vježbanja (bilateralno naspram unilateralno) nije bilo. Rezultati su objašnjeni kroz specifičnosti bilateralne intervencije (otežani trenažni uvjeti) koje mogu potaknuti razvoj koordinacijskih svojstava i percepciju motoričkog zadatka, a manifestiraju se u izvedbi skoka u vis dominantnom stranom tijela. Pretpostavlja se da je uslijed bilateralnog treninga došlo do poboljšanja motoričkog izlaza; drugim riječima, prijenos vještina dogodio se u oba smjera, što je u skladu s novijim istraživanjima.

Provedbom testa dubinsko-daljinskog skoka koji daje uvid u promjene živčano-mišićnih funkcija (eksplozivna i maksimalna jakost) nije se utvrdio statistički značajan interakcijski učinak između faktora vremena mjerenja i trenažne intervencije koji bi pokazao je li jedna trenažna intervencija bolja ili lošija od druge, ali su uočene prosječne promjene u

varijablama, što ukazuje na promjene u obrascu kretanja i sposobnostima. Rezultati su objašnjeni kroz područje morfološke ograničenosti, intenziteta vježbanja i mogućnosti nedostatne mišićne predaktivacije pri izvedbi dubinsko-daljinskog skoka.

Ispitanici bilateralne skupine statistički su značajno smanjili translaciju mjernog uređaja u medio-lateralnom smjeru, ali također nije utvrđen statistički značajno veći ili manji učinak jedne eksperimentalne skupine u odnosu na drugu. Rezultati su objašnjeni kao posljedica izbora SVS-a koji su uključivali kretne obrasce u medio-lateralnom smjeru u većoj mjeri nego u antero-posteriornom smjeru, no ostaje nejasno objašnjenje većeg napretka bilateralne skupine u odnosu na unilateralnu. Usporedbom učinaka trenažnih intervencija kod djece kronološke dobi od sedam do dvanaest godina može se zaključiti da se primjenom obje trenažne intervencije generalno ostvaruju slični učinci.

U skladu s dosadašnjim istraživanjima i objašnjenjima utvrđenih rezultata u pozadini su najvjerojatnije adaptacije središnjeg živčanog sustava. Spoznaja o tome da se bilateralnom trenažnom intervencijom postižu simetrični učinci kao kod unilateralne intervencije iznimno je važna za simetričan mišićni i lokomotorni razvoj, a samim time i za praktičan pristup djeci i mladim sportašima. Rezultati istraživanja mogu se primijeniti generalno u treningu skokova, odnosno odraza, a ne samo u treningu skoka u vis. Da bi se rezultati mjerenih varijabli uspješno implementirali u sustav treninga i natjecateljske izvedbe, potrebna je zadovoljavajuća razina edukacije osoba koje rade u sportu s djecom i mladima. Tako će rezultati uz znanstvenu imati i vrlo važnu praktičnu primjenjivost.

## 7. LITERATURA

- Adams, J.A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3(2), 111-149. doi:10.1080/00222895.1971.10734898
- Almeida, M. B., Rocha Queiroz, D., T.M., Pessôa dos Prazeres, Carneiro, R.C. I sur. (2020). Plyometric training increases gross motor coordination and associated components of physical fitness in children. *European Journal of Sport Science*, 1-10, doi: 10.1080/17461391.2020.1838620
- Andrushko, J.W., Gould, L.A. i Farthing, J.P. (2018). Contralateral effects of unilateral training: sparing of muscle strength and size after immobilization. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(11), 1131-1139. doi: 10.1139/apnm-2018-0073
- Andrushko, J.W., Lanovaz, J.L., Björkman, K.M., Kontulainen, S.A. i Farthing, J.P. (2018). Unilateral strength training leads to muscle-specific sparing effects during opposite homologous limb immobilization. *Journal of Applied Physiology*, 124(4), 866–876. doi: 10.1152/jappphysiol.00971.2017
- Anguera, J.A., Russell, C.A., Noll, D.C. i Seidler, R.D. (2007). Neural correlates associated with intermanual transfer of sensorimotor adaptation. *Brain Research*, 1185, 136–151. doi: 10.1016/j.brainres.2007.09.088
- Anliker, E., Dick, C., Rawer, R. i Toigo, M. (2012). Effects of jumping exercise on maximum ground reaction force and bone in 8- to 12- year old boys and girls: a 9- month randomized controlled trial. *Journal of Musculoskelet Neuronal Interactions*, 12(2), 56-67. doi: 10.5167/uzh-63150
- Antekolović, Lj., Baković, M., Dukarić, V, (2019). Razlika u izvedbi dubinskih skokova između atletičara i ostalih sportaša. U L. Milanović, V. Wertheimer i. Jukić (ur.), *Kondicijska priprema sportaša, Zbornik radova međunarodnog znanstvenog stručnog skupa* (str. 155-159). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Antekolović, Lj., Kasović, M. i Marelić, N. (2006). Biomehaničko vrednovanje dubinskih skokova u pripremi skakača u dalj. *Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik*, 21(1), 12-19
- Antekolović, Lj., Ljubičić, S. i Baković, M. (2014). Vrste i pojavnost ozljeda u atletici. *Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik*, 29(1), 11-18
- Arabatzi, F. (2016). Adaptations in movement performance after plyometric training on mini-trampoline in children. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 58(1-2), 66-72. doi: 10.23736/S0022-4707.16.06759-1



- Armitstead, A. (2019). *Open and closed loop control. How different skills are controlled by the brain*. Inside Track.
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L. i Bahr, R. (2004). Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 278–285. doi: 10.1249/01.MSS.0000113478.92945.CA
- Asadi, A., Arazi, H., Young, W. B. i Sáez de Villarreal, E. (2016). The effects of plyometric training on change-of-direction ability: a meta-analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 563–573. doi: 10.1123/ijsp.2015-0694
- Avinah Bhise, S. i Kishor Patil, N. (2016). Dominant and Non-dominant Leg Activities in Young Adults. *International Journal of Therapies and Rehabilitation Research*, 5(4), 257-264. doi: 10.5455/ijtrr.000000172
- Ayres, A. J. (1972). *Sensory integration and learning disorders*. Los Angeles: Western Psychological Services
- Baković, M. (2016). *Biomehaničko vrednovanje skokova: uloga lateralnosti, zamaha rukama, režima rada mišića i smjera kretanja* (doktorski rad). Kineziološki fakultet, Zagreb
- Baković, M., Ljubičić, S., Antekolović, Lj. (2019). Gender differences in unilateral horizontal drop jump performance in children. *Abstracts from the 5th International Scientific Conference on Exercise and Quality of Life* (p. 9-9). Novi Sad, Srbija
- Barić, R. (2006). *Utjecaj izvora informacija na uspjeh u motoričkom učenju: verbalna uputa, vizualno modeliranje i povratna informacija o izvedbi* (diplomski rad). Filozofski fakultet, Zagreb,
- Bartosiewicz G. (1989). *Biomechanical analysis of strength-speed abilities of the lower extremities and the trunk* (Doctoral dissertation). AWF, Warszawa
- Behm, D.G. i Anderson, K.G. (2006). The role of instability with resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3), 716-722. doi: 10.1519/R-18475.1.
- Behm, D.G., Drinkwater, E.J., Willardson, J.M. i Cowley, P.M. (2010). The use of instability to train the core musculature. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35(1), 91-108. doi: 10.1139/H09-127
- Behm, D.G., Young, J.D., Whitten, J.H.D., Reid, J.C., Quigley, P.J., Low, J., ... Granacher, U. (2017). Effectiveness of Traditional Strength vs. Power Training on Muscle Strength, Power and Speed with Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, 8, 423-426. doi: 10.3389/fphys.2017.00423

- Berk, R. A. i DeGangi, G.A. (1983). *DeGangi-Berk Test of Sensory Integration manual*. Los Angeles. Weslern Psychological Services
- Blažević, I., Antekolović, Lj. i Mešovšek, M. (2006). Variability of high jump kinematic parameters in longitudinal follow-up. *Kinesiology Journal*, 38(1), 63-71
- Bradić, J. (2011). *Kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na mišićnu funkciju i ravnotežu tjelesno aktivnih žena* (doktorski rad). Kineziološki fakultet, Zagreb
- Briem, K., Vala Jonsdottir, Arnason, A., Sveinsson, P., (2017). Effects of Sex and Fatigue on Biomechanical Measures During the Drop-Jump Task in Children. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 5(1): 2325967116679640. doi: 10.1177/2325967116679640
- Cabric, M. i Appell, H. J. (1987). Effect of electrical stimulation of high and low frequency on maximum isometric force and some morphological characteristics in men. *International Journal of Sport Medicine*, 8(4): 256–260. doi: 10.1055/s-2008-1025665
- Carroll, T.J., de Rugy, A., Howard, I.S., Ingram, J.N., Wolpert, D.M. (2016). Enhanced crosslimb transfer of force-field learning for dynamics that are identical in extrinsic and joint-based coordinates for both limbs. *Journal of Neurophysiology*, 115(1), 445-456. doi: 10.1152/jn.00485.2015
- Carroll, T. J., Herbert, R. D., Munn, J., Lee, M. i Gandevia, S. C. (2006). Contralateral effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. *Journal of Applied Physiology*, 101(5), 1514 – 1522. doi: 10.1152/jappphysiol.00531.2006
- Castanharo, R., Veras, M.I.O., Alcantra, C., Miana, A., Manoel, E.J., Proenca, J.E., Duarte, M. (2011). Asymmetries between lower limbs during jumping in female elite athletes from Brazilian national volleyball team. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 11(2), 53-56
- Chmielewski, T.L., Myer, G.D., Kauffman, D. i Tillman, S. (2006). Plyometric exercise in the rehabilitation of athletes: physiological responses and clinical application. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 36(5), 308-319. doi: 10.2519/jospt.2006.2013
- Cohen, J. (1977) *Statistical power analyses for the behavioural sciences*, rev. ed. New York: Academic Press
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112, 155–159. doi: 10.1037/0033-2909.112.1.155
- Coren, S., Porac, C. i Duncan, P. (1981). Lateral preference behaviours in preschool children and young adults. *Child Development*, 52(2), 443–450. doi: 10.2307/1129160

- Coyne, D., Marreleca, G., Perlbarga, V., Péligrini-Issaca, M., van de Moortele, P.-F., Ugurbild, K., ... Lehericyb, S. (2010). Dynamics of motor-related functional integration during motor sequence learning. *Neuroimage*, 49(1), 759–766. doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.08.048
- Croisier, J. L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M. i Ferret, J. M. (2008). Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(8), 1469-75. doi: 10.1177/0363546508316764
- Cuckova, T. i Suss, V. (2014). Muscle Imbalance and Body Composition of Elite Junior Female Volleyball Players. *Indian Journal of Research*; 3(4), 1-2. doi: 10.15373/22501991/APR2014/94
- Čoh, M. i Supej, M. (2008). Biomechanical model of the take-off action in the high jump— A case study. *New Studies in Athletics*, 23(4), 63–73
- Dallas, G., Pappas, P., Ntallas, C.G., Paradisis i G., Exell, T. (2020). The effect of four weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness is sport dependent. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 60(7), 979-984. doi: 10.23736/S0022-4707.20.10384-0
- Dankel, S. J., Kang, M., Abe, T. i Loenneke, J. P. (2019). Resistance training induced changes in strength and specific force at the fiber and whole muscle level: a meta-analysis. *European Journal of Applied Physiology*, 119(1), 265–278, doi: 10.1007/s00421-018-4022-9
- Dapena, J. (1980). The Fosbury-flop technique. *Track and Field Quarterly Review*, 80 (4): 22–27
- Dapena, J. (2002). The evolution of high jump technique: biomechanical analysis. U K. E. Gianikellis (Ur.), Scientific Proceedings of XX International Symposium on Biomechanics in Sports 2002, (str. 3–7). Spain: Universidad de Extremadura
- Dapena, J., Flickin T.K. (2006). Scientific services project – high jump. Biomechanics Laboratory, Department of Kinesiology, Indiana University
- Dayan, E., Cohen, L.G. (2011). Neuroplasticity Subservicing Motor Skill Learning. *Neuron*; 72 (3), 443–454. doi: 10.1016/j.neuron.2011.10.008
- Diallo, O., Dore, E., Duche, P. i Van Praagh, E. (2001). Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41, 342–348

- DiStefano, L.J., Padua, D.A., Blackburn, J.T., Garrett, W.E., Guskiewicz K.M. i Marshall, S.W. (2010). Integrated injury prevention program improves balance and vertical jump height in children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), 332-342. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181cc2225
- Dodig, M. (2002). *Pliometrijski mišićni trening*. Sveučilište u Rijeci
- Doyon, J., Bellec, P., Amsel, R., Penhune, V., Monchi, O., Carrier, J., ... Benali, H. (2009). Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. *Behavioural Brain Research*, 199(1), 61–75. doi: 10.1016/j.bbr.2008.11.012,
- Doyon, J., Owen, A.M., Petrides, M., Sziklas, V., Evans, A.C. (1996). Functional anatomy of visuomotor skill learning in human subjects examined with positron emission tomography. *The European Journal of Neuroscience*, 8(4), 637–48. doi: 10.1111/j.1460-9568.1996.tb01249.x
- Doyon, J., Penhune, V., Ungerleider, L. G. (2003). Distinct contribution of the corticostriatal and cortico-cerebellar systems to motor skill learning. *Neuropsychologia*, 41(3), 252–262. doi: 10.1016/s0028-3932(02)00158-6
- Doyon, J. i Ungerleider L. G. (2002). Functional anatomy of motor skill learning. *Neuropsychology of memory* (3rd edition). Edited by Squire L.R., Schacter D.L. The Guilford Press; 225–238
- Dragert, K. i Zehr, E.P. (2013). High-intensity unilateral dorsiflexor resistance training results in bilateral neuromuscular plasticity after stroke. *Experimental Brain Research*, 225(1), 93–104, doi: 10.1007/s00221-012-3351-x
- Drinkwater, E.J., Pritchett, E.J. i Behm, D.G. (2007). Effect of instability and resistance on unintentional squat-lifting kinetics. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(4), 400–413. doi: 10.1123/ijsp.2.4.400
- Dukarić, V. (2016). *Razlike u biomehaničkim pokazateljima dubinskih skokova s visine 20, 40 i 60 cm* (diplomski rad). Kineziološki fakultet, Zagreb
- Dukarić, V., Antekolović, Lj., Baković, M., Rupčić, T., Cigrovski, V. (2021). Test-Retest Reliability of Unilateral Horizontal Drop Jump in Children. *Sustainability*, 13(21), 12084. doi: 10.3390/su132112084
- Edwards, W.H. (2010). *Motor learning and control – from theory to practice*. California State University, Sacramento
- Faigenbaum, A., Chu, D. (2001). Plyometric training for children and adolescents. American College of Sports Medicine Current Comment

- Farthing, J.P., Krentz, J.R., Magnus, C.R. (2009). Strength training the free limb attenuates strength loss during unilateral immobilization. *Journal of Applied Physiology*, 106(3), 830–836, doi: 10.1152/jappphysiol.91331.2008
- Farthing, J. P., Chilibeck, P. D., Binsted, G., Sarty, G. E. (2007). Neuro-physiological adaptations associated with cross-education of strength. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 37(9), 1594–1600. doi: 10.1007/s10548-007-0033-2
- Farthing, J.P., Krentz, J.R., Magnus, C.R., Barss, T.S., Lanovaz, J.L., Cummine, J., i sur. (2011). Changes in functional magnetic resonance imaging cortical activation with cross education to an immobilized limb. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(8), 1394–1405. doi: 10.1249/MSS.0b013e318210783c
- Fazlioglu, Y. i Gunsen, O.M. (2011). Sensory motor development in autism. U Mohammadi Mohammed Reza, ur., *A Comprehensive Book on Autism Spectrum Disorders; InTech*; 345–368. doi:10.5772/17456
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics with IBM SPSS Statistics*. Newbury Park, CA: Sage
- Fitts, P.M., Posner, M.I. (1967). *Human performance*. Oxford, England: Brooks/cole
- Floyer-Lea, A., Matthews, P.M. (2005). Distinguishable brain activation networks for short- and long-term motor skill learning. *Journal of Neurophysiology*, 94(1), 512–518. doi: 10.1152/jn.00717.2004
- Focke, A., Spancken, S., Stockinger, C., Thürer, B. i Stein, T. (2016). Bilateral practice improves dominant leg performance in long jump. *European Journal of Sport Science*, 16(7), 787–793. doi: 10.1080/17461391.2016.1141996
- Frazer, A. K., Pearce, A. J., Howatson, G., Thomas, K., Goodall, S. i Kidgell, D. J. (2018). Determining the potential sites of neural adaptation to cross-education: implications for the cross-education of muscle strength. *European Journal of Applied Physiology*, 118(9), 1751–1772. doi: 10.1007/s00421-018-3937-5
- Gajewski J., Janiak J., Elias J., Krawczyk B., Wit A. (1996). Evaluation of impact of selected parameters on maximal power output during a standing vertical jump. In: Dworak L.B. (ed.) *The 13th School of Mechanics materials*. AWF, Poznań 330, 190–195
- Glencross, D: (1993) *Human skills: ideas, concepts and models* U: Singer, R.N., Murphey, M., Tennant, L.K.: *Handbook of research in sport psychology*, 242-256, New York, Macmillian Publ. Company
- Gómez Bruton, A., Matute-Llorente, A., González-Agüero, A., José A Casajus, J. A. i Vicente-Rodríguez, G. (2017). Plyometric exercise and bone health in children and

- adolescents: a systematic review. *World Journal of Pediatrics*, 13(2), 112–121. doi: 10.1007/s12519-016-0076-0
- Grafton, S.T., Hazeltine, E., Ivry, R. (1995). Functional mapping of sequence learning in normal humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*; 7 (4), 497–510. doi: 10.1162/jocn.1995.7.4.497
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Maestrini, L., Zahner, L. i Gollhofer, A. (2011). Can balance training promote balance and strength in prepubertal children? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1759–1766. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181da7886
- Greene, D.A. (2006). Adaptive skeletal responses to mechanical loading during adolescence. *Sports Medicine*, 36(9), 723–732. doi: 10.2165/00007256-200636090-00001
- Grouis, G., Kiodou, I., Tsorbatzoudis, H. i Alexandris, K. (2002). Handedness in sport. *Journal of Human Movement Studies*, 43(4), 347–361
- Guyton, A.C. i Hall, J.E. (2012). *Medicinska fiziologija*. Medicinska naklada, Zagreb
- Haaland i E. i Hoff, J. (2003). Non-dominant leg training improves the bilateral motor performance oc soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 13(3), 179–184. doi: 10.1034/j.1600-0838.2003.00296.x
- Halperin, I., Vigotsky, A.D., Foster, C. i Pyne, D.B. (2017). Strengthening the Practice of 660 Exercise and Sport Science. *Intrnational Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 127–134. doi: 10.1123/ijsp.2017-0322
- Hellebrandt, F. A., Parrish, A. M. i Houtz, S. J. (1947). The influence of unilateral exercise on the contralateral limb. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 28, 76–85
- Herbert, R. D., Dean, C. i Gandevia, S. C. (1998). Effects of real and imagined training on voluntary muscle activation during maximal isometric contractions. *Acta Physiologica Scandinavica*, 163(4), 361–368. doi: 10.1046/j.1365-201X.1998.t01-1-00358.x
- Hicks, R. E. (1974). Asymmetry of bilateral transfer. *The American Journal of Psychology*, 87(4), 667–674. doi: 10.2307/1421973
- Horga, S. (1993). *Psihologija sporta*. Fakultet za fizičku kulturu, Zagreb,
- Hortobágyi, T., Barrier, J., Beard, D., Braspeninx, J., Koens, P., Devita, P., ... Lambert, J. (1985). Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening. *Journal of Applied Physiology*, 81(4), 1677–1682. doi: 10.1152/jappl.1996.81.4.1677

- Hortobágyi, T., Scott, K., Lambert, J., Hamilton, G. i Tracy, J. (1999). Cross-education of muscle strength is greater with stimulated than voluntary contractions. *Motor Control*, 3(2), 205–21. doi: 10.1123/mcj.3.2.205.
- Hubal, M. J., Gordish-Dressman, H., Thompson, P. D., Price, T. B., Hoffman, E. P., Angelopoulos, T. J., ... Clarkson, P. M. (2005). Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 37(6), 964–972
- Huurnink, A., Fransz, D. P., Kingma, I., Hupperets, M. D. i van Dieën, J. H. (2014). The effect of leg preference on postural stability in healthy athletes. *Journal of Biomechanics*, 47(1), 308–312. doi: 10.1016/j.jbiomech.2013.10.002
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Maffiuletti, N. i Marcora, S. M. (2007). A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(11), 2044–2050, doi: 10.1249/mss.0b013e31814fb55c
- Müller, H., Ritzdorf, W. (2009). *RUN! JUMP! THROW! The Official IAAF Guide to Teaching Athletics*. The International Association of Athletics Federations
- Issurin, V.B. (2014). Training transfer: scientific background and insights for practical application. *Sports Medicine*, 43(8), 675–94. doi: 10.1007/s40279-013-0049-6
- Iveković, I. (2013). Utjecaj motoričkog planiranja, koordinacije i sukcesivnih sposobnosti na motorički razvoj i društveno ponašanje djece s teškoćama u razvoju. *Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik*; 28(2): 99–107
- Jacoby, E. i Fraley, B. (1995). Complete books of jumps. *Human Kinetics*
- Janz, F., Rao, S., Baumann, H.J., Schultz, J.L. (2003). Measuring Children's Vertical Ground Reaction Forces with Accelerometry During Walking, Running, and Jumping: The Iowa Bone Development Study. *Human Kinetics*: 15, 34–43. doi: 10.1123/pes.15.1.34
- Jarvis, M. (1999). *Sport Psychology*. London & New York Routhledge
- Jaworski, J., Ambrozy, T., Lech, G., Spieszny, M., Bujas, P., Żak, M., ... Chwala, W. (2020). Absolute and relative reliability of several measures of static postural stability calculated using a GYKO inertial sensor system. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*; 22 (2), 93-99. doi: 10.37190/ABB-01502-2019-02
- Jezdimirović, M., Joksimović, A., Stanković, R. i Bubanj, S. (2013). Differences in the vertical jump in soccer players according to their position on the team. *Physical Education and Sport*; 11 (3), 221–226

- Johnson, B.A., Salzberg, C.L. i Stevenson, D.A. (2011). A systematic review: plyometric training programs for young children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2623–33. doi: 10.1519/JSC.0b013e318204caa0
- Kapreli, E., Athanasopoulos, S., Papathanasiou, M., Van Hecke, P., Strimpakos, N., Gouliamos, A., ... Sunaert, S. (2006). Lateralization of brain activity during lower limb joints movement. *NeuroImage*, 32(4), 1709–1721. doi: 10.1016/j.neuroimage.2006.05.043
- Kosinac, Z. (2011). Neurološko-fiziološke osnove stvaranja motoričkog programa (engrama) i motoričkog učenja. U. V. Findak (ur.), *Zbornik radova 20. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske* (str. 441–446). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez
- Kotzamanidis, C. (2006). Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 441–445. doi: 10.1519/R-16194.1
- Lee, M. i Carroll, T. J. (2007). Cross education: possible mechanisms for the contralateral effects of unilateral resistance training. *Sports Medicine*, 37(1), 1–14, doi: 10.2165/00007256-200737010-00001
- Lee, M., Hinder, M. R., Gandevia, S. C., Carroll, T. J. (2010). The ipsilateral motor cortex contributes to cross-limb transfer of performance gains after ballistic motor practice. *The Journal of Physiology*, 588(1), 201–212. doi: 10.1113/jphysiol.2009.183855
- Lorger, M., Hraski, M. i Hraski, Ž. (2012). The effects of motor learning on results of standing long jump performed by female students. *Sport Science*, 5(1), 27–31
- Lovrić, F. (2016). *Konstrukcija, validacija i primjena bilateralnih kinezioloških testova za procjenu razine lokomotornih i manipulativnih motoričkih znanja kod sedmogodišnjaka* (doktorski rad). Kineziološki fakultet, Split
- Magnus, C.R., Barss, T.S., Lanovaz, J.L. i Farthing, J.P. (2010). Effects of crosseducation on the muscle after a period of unilateral limb immobilization using a shoulder sling and swathe. *Journal of Applied Physiology*, 109(6), 1887–1894. doi: 10.1152/jappphysiol.00597.2010
- Manca, A., Cabboi, M.P., Ortu, E., Ginatempo, F., Dragone, D., Zarbo, I.R., ... Deriu, F. (2016). Effect of contralateral strength training on muscle weakness in people with multiple sclerosis: proof-of-concept case series. *Physical Therapy*, 96(6), 828–838. doi: 10.2522/ptj.20150299
- Manca, A., Hortobágy, T., Carroll, T.J., Enoka, R.M., Farthing, J.P., Gandevia, S.C., ... Deriu, F. (2021). Contralateral Effects of Unilateral Strength and Skill Training: Modified



- Delphi Consensus to Establish Key Aspects of Cross - Education. *Sports Medicine*, 51(101), 11–20. doi: 10.1007/s40279-020-01377-7
- Marinsek, M. (2016). Lateral asymmetry as a function of motor practice type of complex upper- and lower-limb movement in young children. *Laterality*, 21(3), 267–281. doi: 10.1080/1357650X.2015.1127253
- Marković, G., Jukić, I., Milanović, D. i Metikoš, D. (2007). Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 543–549. doi: 10.1519/R-19535.1
- Marković, G. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *British Journal Sports Medicine*, 41(6), 349–355. doi: 10.1136/bjism.2007.035113
- Marković, G. i Mikulić, P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Medicine*, 40(10), 859–895. doi: 10.2165/11318370-000000000-00000
- Marković, G., Vuk, S. i Jarić, S. (2011). Effects of jump training with negative versus positive loading on jumping mechanics. *International Journal of Sports Medicine*, 32(5), 365–372. doi: 10.1055/s-0031-1271678
- Maurer, H. (2005). Bilateral practice for motor skills. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 12(3), 93–99. doi: 10.1026/1612-5010.12.3.93
- McGinnis, P.M. (2013). *Biomechanics of Sport and Exercise. Human Kinetics*
- McKay, H., Tsang, G., Heinonen, A., MacKelvie, K., Sanderson, D. i Khan, K.M. (2005). Ground reaction forces associated with an effective elementary school based jumping intervention. *British Journal of Sports Medicine*, 39(1), 10–14. doi: 10.1136/bjism.2003.008615
- McManus, C. (2004). *Right hand, left hand: The origins of asymmetry in brains, bodies, atoms and cultures. Cambridge, MA: Harvard University Press*
- Melick, van, N., Meddeler, B.M., Hoogeboom, T.J., Nijhuis-van der Sanden, M.W.G. i van Cingel, R.E. (2017). How to determine leg dominance: The agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PloS One*; 12(12). doi: 10.1371/journal.pone.0189876
- Meylan, C. i Malatesta, D. (2009). Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9), 2605–2613. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b1f330

- Mier, van, H. I. i Petersen, S. E. (2006). Intermanual transfer effects in sequential tactuomotor learning: Evidence for effector independent coding. *Neuropsychologia*, 44(6), 939–949. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2005.08.010
- Munn, J., Herbert, R.D. i Gandevia, S.C. (2004). Contralateral effects of unilateral resistance training: a meta-analysis. *Journal of Applied Physiology*, 96(5), 1861–1866. doi: 10.1152/jappphysiol.00541.2003
- Musyrifah Ismail, S., Krasilshchikov, O., Shaw, I., Shaw, B.S. (2014). Enhancing jump ground reaction forces in children through jump training. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 36(1), 199-209
- Milanović, D. (2010). *Teorija i metodika treninga*. Društveno Veleučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu,
- Miletić, Đ. (2013). Motoričko učenje i transfer znanja. U. V. Findak (ur.), *Zbornik radova 22. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske* (str. 56–63). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez
- Miller, L. E., Pierson, L. M., Nickols-Richardson, S. M., Wootten, D. F., Selmon, S. E., Ramp, W. K. i Herbert, W. G. (2006). Knee extensor and flexor torque development with concentric and eccentric isokinetic training. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 77(1), 58–63. doi:10.5641/027013606X13080769703885
- Moritani, T. i deVries. H.A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal Physical Medicine*, 58(3), 115–130
- Myer, G.D., Ford, K.R., Mclean, S.G. i Hewett, T.E. (2006). The effects of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(3), 445–455. doi: 10.1177/0363546505281241
- Othman, A.B., Behm, D.G. i Chaouachi, A. (2018). Evidence of homologous and heterologous effects after unilateral leg training in youth. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(3), 282–291, doi: 10.1139/apnm-2017-0338
- Othman, A.B., Chaouachi, A., Chaouach, M., Farthing, J.P., Granacher, U. i Behm, D.G. (2019). Dominant and nondominant leg press training induce similar contralateral and ipsilateral limb training adaptations with children. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 44(9), 973–984. doi: 10.1139/apnm-2018-0766.
- Othman, A.B., Chaouachi, M., Makhlof, I., Farthing, J.P., Granacher, U., Behm, D.G. i Chaouachi, A. (2020). Unilateral Elbow Flexion and Leg Press Training Induce Cross-

- Education But Not Global Training Gains in Children. *Pediatric exercise science*, 32(1), 36–47. doi: 10.1123/pes.2019-0079
- Paillard, T. (2020). Cross-Education Related to the Ipsilateral Limb Activity on Monopedal Postural Control of the Contralateral Limb: A Review. *Frontiers in Physiology*: 11. doi:10.3389/fphys.2020.00496
- Parlow, S.E. i Kinsbourne, M. (1989). Asymmetrical transfer for training between hands: Implications for interhemispheric communication in normal brain. *Brain and Cognition*, 11(1), 98–11. doi: 10.1016/0278-2626(89)90008-0
- Pearce, A.J., Hendy, A.M., Bowen, W.A. i Kidgell, D.J. (2013). Corticospinal adaptations and strength maintenance in the immobilized arm following 3 weeks unilateral strength training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 23(6), 740–748. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01453.x
- Pittenger, V.M., McCaw, T. i Thomas, D.Q. (2002). Vertical ground reaction forces of children during one- and two-leg rope jumping. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 73(4), 445–449. doi:10.1080/02701367.2002.10609044
- Promsri, A., Haid, T. i Federolf, P. (2018). How does lower limb dominance influence postural control movements during single leg stance? *Human Movement Science*, 58, 165–174. doi: 10.1016/j.humov.2018.02.003
- Promsri, A., Haid, T., Werner, I., Federolf, P. (2020). Leg Dominance Effects on Postural Control When Performing Challenging Balance Exercises. *Brain Sciences*, 10(3), 128. doi: 10.3390/brainsci10030128
- Raiola, G., Tafuri, D., Paloma, G. (2014). Physical activity and sport skills and its relation to mind theory on motor control. *Sport Science* 7(1), 52-56
- Rainer Ballreich, von, H., Kuhlowl, A. (1986). *Biomechanik der Sportarten*. Thieme, Stuttgart
- Ramirez-Campillo, R., Álvarez, C., García-Hermoso, A., RamírezVélez, R., Gentil, P., Asadi, A., ... Izquierdo, M. (2018). Methodological characteristics and future directions for plyometric jump training research: A scoping review. *Sports Medicine*, 48 (5), 1059–1081. doi: 10.1111/sms.13633
- Ramirez-Campillo, R., Alvarez, C., Sanchez-Sanchez, J., Slimani, M., Gentil, P., Chelly, M. S. i Shephard, R. J. (2019). Effects of plyometric jump training on the physical fitness of young male soccer players: Modulation of response by intersset recovery interval and maturation status. *Journal of Sports Sciences*, 37(23), 1–8. doi: 10.1080/02640414.2019.1626049

- Ramirez-Campillo, R., Sanchez-Sanchez, J., Gonzalo-Skok, O., Rodríguez-Fernandez, A., Carretero i M., Nakamura, F.Y. (2018). Specific Changes in Young Soccer Player's Fitness After Traditional Bilateral vs. Unilateral Combined Strength and Plyometric Training. *Frontiers in Physiology*, 22(9), 265. doi: 10.3389/fphys.2018.00265
- Rauch, S.L., Savage, C.R., Brown, H.D., Curran, T., Alpert, N.M., Kendrick, A., ... Kosslyn, S.M. (1995). A PET investigation of implicit and explicit sequence learning. *Human Brain Mapping*; 3 (4), 271–86. <https://doi.org/10.1002/hbm.460030403>
- Reuter, E.-M., Cunnington, R., Mattingley, J.B., Riek, S. i Carroll, T.J. (2016). Feedforward compensation for novel dynamics depends on force field orientation but is similar for the left and right arms. *Journal of Neurophysiology*, 116(5), 2260–2271. doi: 10.1152/jn.00425.2016
- Ruddy, K.L. i Carson, R.G. (2013). Neural pathways mediating cross education of motor function. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 1–22. doi: 10.3389/fnhum.2013.00397
- Saez-Saez De Villarreal, E., Requena, B. i Newton, R.U. (2010). Does plyometric training improve strength performance? A Meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 513–522. doi: 10.1016/j.jsams.2009.08.005
- Sainburg, R. (2005). Handedness: Differential Specializations for Control of Trajectory and Positio. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 33(4), 206–213. doi: 10.1097/00003677-200510000-00010
- Schaffer, J. i Sainburg, R.L. (2017). Interlimb Differences in Coordination of Unsupported Reaching Movements. *Neuroscience*, 350, 54–64 doi: 10.1016/j.neuroscience.2017.03.025
- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review* 82, 225–260, doi: 10.1037/h0076770
- Schmidt, R.A., Young, D.E. (1987). Transfer of Learning: Centemporary Research and Applications. U S.M. Cormier (ur.) i J.D. Hagman (ur.), Transfer of Movement Control in Motor Skill Learning (str. 47-79). Academic Press. doi: 10.1016/C2009-0-21745-4
- Schmidt, R.A. i Wrisberg, C.A. (2000). Motor learning and control (2nd edition). USA: *Human kinetics*
- Schmidt, R. i Wrisberg, C. A. (2008). Motor learning and pergomance (4th ed.); Champaign, IL: *Human Kinetics*

- Senff, O. i Weigelt (2011). Sequential effects after practice with the dominant and non-dominant hand on the acquisition of a sliding task in schoolchildren. *Laterality*, 16(2), 227–239. doi: 10.1080/13576500903549414
- Shadmehr, R., Criscimagna-Hemminger, S. E., Donchin, O. i Gazzaniga, M. S. (2010). Learned dynamics of reaching movements generalize. *Journal of Neurophysiology*, 103(4), 2275–2284. doi: 10.1152/jn.00622.2002
- Sinclair, J., Fewtrell, D., Taylor, P. J., Atkins, S., Bottoms, L. i Hobbs, S. J. (2014). Three-dimensional kinematic differences between the preferred and non-preferred limbs during maximal instep soccer kicking. *Journal of Sports Science*, 32 (20), 1914–1923, doi: 10.1080/02640414.2014.965188
- Stockinger, C., Thürer, B., Focke, A. i Stein, T. (2015). Intermanual transfer characteristics of dynamic learning: direction, coordinate frame, and consolidation of interlimb generalization. *Journal of neurophysiology*, 114(6), 3166–3176. doi: 10.1152/jn.00727.2015
- Stöckel, T., Weigelt, M. i Krug, J. (2011). Acquisition of a complex basketball dribbling task in school children as a function of bilateral practice order. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82(2), 188–197. doi: 10.1080/02701367.2011.10599746
- Stöckel, T. i Weigelt, M. (2012). Brain lateralisation and motor learning: Selective effects of dominant and non-dominant hand practice on the early acquisition of throwing skills. *Laterality*, 17(1), 18–37. doi: 10.1080/1357650X.2010.524222
- Tabachnick, B.G. i Fidell, L.S. (2013). *Using Multivariate Statistics (6th Edition)*. Boston, MA: Pearson
- Taylor, G.H. i Heilmann, K.M. (1980). Left hemisphere motor dominance in right handers. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 16(4), 587–603. doi: 0.1016/s0010-9452(80)80006-2
- Teixeira, L.A., Silva, M.V.M i Carvalho, M.A. (2003). Reduction of lateral asymmetries in dribbling: The role of bilateral practice. *Laterality*, 8(1), 53–65. doi: 10.1080/713754469
- Tran, U. S. i Voracek, M. (2016). Footedness is associated with self-reported sporting performance and motor abilities in the general population. *Frontiers in Psychology*, 7:1199. doi: 10.3389/fpsyg.2016.01199
- Trošt Bobić, T. (2012). *Ipsilateralni i kontralateralni učinci treninga jakosti i ravnoteže na živčano-mišićnu funkciju i motoričku kontrolu tjelesno aktivnih osoba* (doktorski rad). Kineziološki fakultet, Zagreb

- Uggetti, C., Ausenda, C.D., Squarza, S., Cadioli, M., Grimoldi, L., Cerri, C., Cariatì, M. (2016). Bilateral transfer phenomenon: A functional magnetic resonance imaging pilot study of healthy subjects. *Neuroradiology Journal*, 29(4), 250–253. doi: 10.1177/1971400916631992
- Urbin, M.A., Harris-Love, M.L., Carter, A.R. i Lang, C.E. (2015). High-intensity, unilateral resistance training of a non-paretic muscle group increases active range of motion in a severely paretic upper extremity muscle group after stroke. *Frontiers in Neurology*, 6:119, doi: 10.3389/fneur.2015.00119
- Uzelac-Šćiran, T. (2021). *Promjene u skakačkoj i sprinterskoj izvedbi dječaka različite biološke dobi nakon ciklusa skakačkog treninga* (doktorski rad). Kineziološki fakultet. Zagreb
- Velotta, J., Weyer, J., Ramirez, A., Winstead, J. i Bahamonde, R. (2011). Relationships between leg dominance tests and type of task. *Proceedings of the XXIXth International Conference on Biomechanics in Sports*, Porto, Portugal
- Zhou, S. (2000). Chronic neural adaptations to unilateral exercise: mechanisms of cross education. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 28(4), 177–184
- Ziheng, N. i Faro, A. (2004). Bilateral transfer in learning: implications for sport skills. *Children and youth in organized sports* (str. 179–188). Coimbra University Press. doi: 10.14195/978-989-26-0412-1\_12
- Weeks, B. K., Young, C. M. i Beck, B. R. (2008). Eight months of regular in-school jumping improves indices of bone strength in adolescent boys and girls: the POWER PE study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 23(7), 1002–1011. doi: 10.1359/jbmr.080226
- Williams, H. G. (1983). *Perceptual and motor development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall
- Williams, H.G., Pfeiffer, K.A., O’neill, J.R., Dowda, M., Mciver, K.L., Brown, W.H., Patel, R.R. (2008). Motor skill performance and physical activity in preschool children. *Obesity (Silver Spring)*, 16(6), 1421–6. doi: 10.1038/oby.2008.214
- Witzke, K.A. i Snow, C.M. (2000). Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girl. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(6): 1051–1057. doi: 10.1097/00005768-200006000-00003
- Wrotniak, B.H., Epstein, L.H., Dorn, J.M., Jones, K.E., Kondilis, V.A. (2007). The relationship between motor proficiency and physical activity in children. *Pediatrics*, 118 (6): 1758–1765, doi: 10.1542/peds.2006-0742,

- Yadav, V. i Sainburg, R.L. (2014). Limb Dominance Results from Asymmetries in Predictive and Impedance Control Mechanisms. *PLoS One*, 9(4), e93892. doi: 10.1371/journal.pone.0093892
- Yue, G., Cole i K. J. (1992). Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *Journal of Neurophysiology*, 67(5), 1114–1123. doi: 10.1152/jn.1992.67.5.1114

## 8. ŽIVOTOPIS AUTORICE

Sanja Ljubičić rođena je 9. prosinca 1988. u Rijeci gdje je pohađala Osnovnu školu „Turnić” i srednju Ekonomsku školu Mije Mirkovića. Po završetku srednje škole 2007. godine upisuje Kineziološki fakultet u Zagrebu i 2012. godine stječe naziv magistre kineziologije s usmjerenjem atletika pod mentorstvom prof. dr. sc. Ljubomira Antekolovića. Vođena potrebom za daljnjim profesionalnim usavršavanjem, 2015. godine upisuje poslijediplomski doktorski studij kineziologije na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. U svojem znanstvenom radu uglavnom se bavi problematikom iz područja atletike.

Uz školovanje bavila se gimnastikom (Gimnastički klub Rijeka) i atletikom (Atletski klub Kvarner). Tijekom atletske karijere bavila se disciplinom skoka u vis u kojoj je višestruka osvajačica medalja na državnim prvenstvima uz iskustvo reprezentativnih nastupa.

Tijekom i nakon završetka studija stekla je iskustvo rada s djecom mlađih dobnih kategorija u sportovima poput gimnastike, atletike i plivanja. Od 2014. do 2021. zapošljava se na određeno radno vrijeme kao nastavnica tjelesne i zdravstvene kulture u Ugostiteljskoj školi Opatija, a u rujnu 2021. godine prelazi u Osnovnu školu Podmurvice gdje zasniva stalni radni odnos. U akademskoj godini 2019./2020. izabrana je za vanjsku suradnicu (asistenticu) na Učiteljskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci na predmetima Kineziološke kulture i Kineziologije, a nedugo nakon postaje dio tima pri Centru za istraživanje i razvoj djece rane i predškolske dobi.



## 9. ZNANSTVENI I STRUČNI RADOVI AUTORICE

- Ljubičić, S., Antekolović, Lj., Petrić, V. (2022). Integration of Bilateral Coordination in the Children's Motor Learning Process. *Jouranal of Elementary Education*, 15(3), 289-305
- Ljubičić, S., Antekolović, Lj., Baković, M. (2021). The Analysis of Developmental trends in the Olympic Results of Women's High Jump. U S. Šalaj i D. Škegro (ur.), *Proceeding book of 9 th International Scientific Conference on Kinesiology* (str. 788- 792). Opatija, Hrvatska
- Cetinić, M., Strukar, S., Ljubičić, S. (2021). Analysis of the Developmental trends in results of discus throwers in Croatia from 2008 to 2020. U S. Šalaj and D. Škegro (ur.), *Proceeding book of 9 th International Scientific Conference on Kinesiology* (str. 738-741). Opatija, Hrvatska
- Strukar, S., Ljubičić, S. (2021). Analiza nastupa bacača na seniorskim prvenstvima hrvatske u atletici od 2010.-2019. godine. U V. Babić i T. Trošt Bobić (ur.), *Zbornik radova 29. Ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske* (str. 871-876). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez
- Ljubičić, S., Višić, G. (2021). Fiziološko opterećenje na satu kineziološke kulture. U L. Milanović, V. Wertheimer, I. Jukić, I i Krakan (ur.), *Zbornik radova 19. godišnje međunarodne konferencije kondicijske pripreme sportaša* (str. 107-111). Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Dukarić, V., Jularić, J., Ljubičić, S. (2021). Praćenje fizioloških parametara intenziteta i umora primjenom invazivnih metoda nakon trčanja dionice 400 metara. U L. Milanović, V. Wertheimer, I. Jukić i I. Krakan (ur.), *Zbornik radova 19. godišnje međunarodne konferencije kondicijske pripreme sportaša* (str. 47-49). Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Ljubičić, S., Trajkovski, B., Tomac, Z. (2020). Assessment of Physical Fitness of Students at the Faculty of Teacher Education in Rijeka. U O. Titrek, G. Sezen-Gultekin (ur.), *Proceeding book of 6 th International Conference on Lifelong Education and Leadership for all* (str. 159-169). Sakarya University, Turkey
- Trajkovski B., Kelek, J., Ljubičić, S. (2020). Razlike u eksplozivnoj jakosti donjih ekstremiteta kod djece rane školske dobi. *ERS*, 42, 32-36

- Ljubičić, S., Pavić, N., Matrljan, A. (2019). Razina posjećenosti seniorki i seniora na prvenstvu Hrvatske u atletici. U V. Babić (ur.), *Zbornik radova 28. Ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske* (str. 585-590). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez
- Ljubičić S., Trajkovski, B., Antekolović, Lj. (2019). Application of modern technology for the evaluation of balance in early school-age children. Educational System and Societal Changes: Challenges and Opportunities Mediterranean Scientific Conference. *Odgojno-obrazovne teme*, 3(3), 113-128
- Ljubičić, S., Uzelac-Šćiran, T., Kusić, A. (2018). Razlike u morfološkim karakteristikama atletičarki-bacačica finalistkinja na Olimpijskim igrama od 2000. – 2016. U V. Babić (ur.), *Zbornik radova 27. Ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske* (str. 528–533). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez
- Antekolović, J., Ajman H., Ljubičić, S. (2018). Primjena vortexa (vrtloga) u elementarnoj sportskoj školi programa Vikendom u sportske dvorane. U V. Babić (ur.), *Zbornik radova 27. Ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske* (str. 153–157). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez
- Zekić, R., Uzelac-Šćiran, T., Ljubičić, S. (2017). Utjecaj motoričkih sposobnosti na razvoj aerobnih potencijala kod djevojčica predškolskog uzrasta. U V. Findak (ur.), *Zbornik radova 26. Ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske* (str. 194–200). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez
- Ljubičić, S., Uzelac-Šćiran, T., Dukarić, V. (2017). Razlike u morfološkim karakteristikama atletičara-skakača finalista na Olimpijskim igrama od 2000. – 2012. U V. Findak (ur.), *Zbornik radova 26. Ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske* (str. 157–162). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez
- Ljubičić, S., Antekolović, Lj., Dukarić, V. (2017). The analysis of the Olympic results of athletes in mens long jump. U D. Milanović, G. Sporiš, S. Šalaj i D. Škegro, (ur.), *Proceeding book of 8 th International Scientific Conference on Kinesiology* (str. 370-375). Opatija, Hrvatska
- Ljubičić, S., Antekolović, Lj., Antekolović, J. (2016). Razlozi zbog kojih mladi odustaju trenirati atletiku. U V. Findak (ur.), *Zbornik radova 25. Ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske* (str. 647–653). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez
- Uzelac-Šćiran, T., Ljubičić, S. (2016). Praćenje razvoja antropoloških obilježja učenica i učenika kroz srednje školsko doba. U V. Findak (ur.), *Zbornik radova 25. Ljetne*

*škole kineziologa Republike Hrvatske* (str. 112–117). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez

Antekolović, Lj., Ljubičić, S., Baković, M. (2014). Vrste i pojavnost ozljeda u atletici. *Hrvatski športskomedicinski vjesnik*. 29(1), 11–18