

Promjene u skakačkoj i sprinterskoj izvedbi dječaka različite biološke dobi nakon ciklusa skakačkoga treninga

Uzelac-Šćiran, Tomislav

Doctoral thesis / Disertacija

2021

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:117:471547>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Tomislav Uzelac-Šćiran

**PROMJENE U SKAKAČKOJ I
SPRINTERSKOJ IZVEDBI DJEČAKA
RAZLIČITE BIOLOŠKE DOBI NAKON
CIKLUSA SKAKAČKOGA TRENINGA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu

FACULTY OF KINESIOLOGY

Tomislav Uzelac-Šćiran

**CHANGES IN JUMP AND SPRINT
PERFORMANCE FOLLOWING A JUMP
TRAINING INTERVENTION IN BOYS
VARYING IN BIOLOGICAL AGE**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Tomislav Uzelac-Šćiran

**PROMJENE U SKAKAČKOJ I
SPRINTERSKOJ IZVEDBI DJEČAKA
RAZLIČITE BIOLOŠKE DOBI NAKON
CIKLUSA SKAKAČKOGA TRENINGA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Pavle Mikulić

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu

FACULTY OF KINESIOLOGY

Tomislav Uzelac-Šćiran

**CHANGES IN JUMP AND SPRINT
PERFORMANCE FOLLOWING A JUMP
TRAINING INTERVENTION IN BOYS
VARYING IN BIOLOGICAL AGE**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Assoc. Prof. Pavle Mikulić, PhD.

Zagreb, 2021

Hvala

Supruzi Miljani na strpljenju.

Sinovima Domagoju i Mislavu na bezgraničnoj ljubavi.

Pokojnoj majci na razumijevanju i podršci.

Svim ispitanicima ove studije, učenicima Osnovne škole *Bakar* iz Bakra i Osnovne škole *Nikola Tesla* iz Rijeke, na uloženom trudu.

Mojim kolegama, Nataši Pavić, prof. i Aleksandru Tiškovskom, prof., na pomoći u provedbi skakačke trenažne intervencije tijekom nastave Tjelesne i zdravstvene kulture.

Članovima Povjerenstva, doc. dr. sc. Maroju Soriću i doc. dr. sc. Sanji Šalaj, na kvalitetnim savjetima za poboljšanje rada.

Članu Povjerenstva prof. dr. sc. Nejcu Šarabonu, na susretljivosti, originalnim idejama u radu, ustupanju platforme za mjerenje sile reakcije podloge i na strpljivosti prilikom mog obučavanja za rad na istoj.

Mentoru, kolegi i prijatelju prof. dr. sc. Pavlu Mikuliću, na dostupnosti i ljubaznosti, savjetima, podršci i usmjerenom vodstvu prema realizaciji ovog projekta.

Tomislav Uzelac-Šćiran

PROMJENE U SKAKAČKOJ I SPRINTERSKOJ IZVEDBI DJEČAKA RAZLIČITE BIOLOŠKE DOBI NAKON CIKLUSA SKAKAČKOGA TRENINGA

SAŽETAK

Cilj ovog rada bio je: (1) usporediti utjecaj strukturiranog skakačkoga treninga u trajanju od osam tjedana s utjecajem redovnog programa Tjelesne i zdravstvene kulture na pokazatelje živčanomišićne izvedbe kod dječaka sedmih i osmih razreda osnovne škole različite biološke dobi; te (2) istražiti utjecaj biološke dobi na veličinu učinka strukturiranog skakačkoga treninga tijekom istog vremenskog razdoblja. Izračunom vrijednosti vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine, za 126 ispitanika određena je biološka dob te su inicijalno podijeljeni u skupinu biološki mlađih (vremenski odmak od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine < 0) i skupinu biološki starijih (vremenski odmak od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine > 0) ispitanika. Potom su slučajnim odabirom te dvije skupine po biološkoj dobi dalje podijeljene na eksperimentalne odnosno kontrolne skupine. Ispitanici iz eksperimentalnih skupina sudjelovali su u skakačkoj trenažnoj intervenciji dva puta tjedno kroz osam tjedana, dok su ispitanici iz kontrolnih skupina nastavili pratiti redovan program Tjelesne i zdravstvene kulture. Prije početka i po završetku trenažne intervencije procjenjivale su se: visina skoka iz čučnja (cm), visina skoka s pripremom (cm) te indeks reaktivne jakosti (mm/ms) za procjenu skakačke izvedbe; vrijeme sprinta na 20 metara (s) za procjenu sprinterske izvedbe; te izokinetička jakost mišića opružača potkoljenice dominantne noge (vršni moment sile (Nm)) za procjenu jakosti mišića opružača potkoljenice. Po završetku osmotjedne intervencije, obje eksperimentalne skupine ostvarile su značajan napredak u pokazateljima živčanomišićne izvedbe (gdje je $p < 0,05$; $d = 0,28 - 1,00$), dok promjene u pokazateljima živčanomišićne izvedbe kod kontrolnih skupina nisu bile značajne (svi $p \geq 0,05$; $d = -0,14 - 0,15$). Serije univarijatnih analiza varijance (ANOVA) za ponovljena mjerenja pokazale su sljedeće: (1) napredak u svim pokazateljima živčanomišićne izvedbe bio je evidentno veći kod dječaka koji su sudjelovali u skakačkoj trenažnoj intervenciji naspram dječaka koji su pratili program Tjelesne i zdravstvene kulture, i (2) razlike u napretku između inicijalnog i finalnog mjerenja između biološki mlađih i biološki starijih ispitanika iz eksperimentalnih skupina uočene su samo za indeks reaktivne jakosti iako je, promatrano kroz analize unutar skupina, u svim

pokazateljima živčanomišićne izvedbe kod biološki mlađih ispitanika primijećen trend većeg napretka u odnosu na biološki starije vršnjake. Rezultati ovog istraživanja pokazali su kako određene važne sastavnice tjelesne pripremljenosti zdravih netreniranih dječaka osnovnoškolskog uzrasta kronološke dobi 12-14 godina mogu biti akutno poboljšane dobro strukturiranom skakačkom trenažnom intervencijom i čini se da biološka dob igra u najmanju ruku ograničenu ulogu u usmjeravanju tih poboljšanja.

Ključne riječi: pliometrijski trening, Tjelesna i zdravstvena kultura, biološka dob, djeca, adolescenti

CHANGES IN JUMP AND SPRINT PERFORMANCE FOLLOWING A JUMP TRAINING INTERVENTION IN BOYS VARYING IN BIOLOGICAL AGE

ABSTRACT

The purpose of this study was two-fold: (1) to compare the effects of an eight week structured jump training program to the effects of the regular physical education program on measures of neuromuscular performance in boys of different maturity status attending grades 7 and 8 of the elementary school; and (2) to explore the impact of the biological age on the magnitude of the effect of structured jump training program during the same period. Peak high velocity (PHV) maturity offset value was used to determine biological age for one hundred and twenty-six participants who were initially categorized into two maturity groups: a pre-PHV group (age at PHV < 0,0) and a post-PHV group (age at PHV > 0,0). Then, they were randomly assigned to experimental and control groups. Experimental groups participated in jump training program through eight weeks, while control groups continued with their regular physical education lessons. Squat jump height (cm), countermovement jump height (cm), and reactive strength index (mm/ms) as the indicators of jumping performance; 20-m sprint time (s) as an indicator of sprinting performance, and isokinetic strength of the knee extensors of the dominant leg (peak torque (Nm)) as an indicator of the function of the knee extensor muscles, were assessed pre- and post-intervention. Following the eight-week intervention, both pre- and post-PHV jump training groups made significant gains in measures of neuromuscular performance (where $p < 0,05$; $d = 0,28 - 1,00$), while changes in these measures of neuromuscular performance in the control groups were not significant (all $p \geq 0,05$; $d = -0,14 - 0,15$). A series of repeated measures analyses of variance (ANOVA) indicated that: (1) the improvements in all measures of neuromuscular performance were evidently greater in jump training than in control group, and (2) maturity-related differences between jump training groups were observed only for reactive strength index although, based on the within-group analyses, a trend of greater progress in all measures of neuromuscular performance was observed in pre-PHV boys compared to their post-PHV peers). This study proved that certain important components of physical fitness in healthy untrained 12-14-year-old

schoolboys may be acutely enhanced through a well-structured jump training intervention and that maturity seems to at least play a limited role in directing these enhancements.

Keywords: plyometric training, physical education, maturation, children, adolescents

ŽIVOTOPIS MENTORA

Dr. sc. Pavle Mikulić, izvanredni profesor Kineziološkog fakulteta u Zagrebu, rođen je 1976. godine u Zagrebu gdje je završio osnovnu školu i prva tri razreda prirodoslovno-matematičke gimnazije. Četvrti razred gimnazije završio je u SAD. Na Fakultetu za fizičku kulturu, odnosno Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, diplomirao je 2001., magistrirao 2004. i doktorirao 2006. godine. Akademske godine 2009/2010. obavio je postdoktorsko usavršavanje pri Zavodu za kineziologiju sveučilišta Penn State (SAD), uz potporu Hrvatske zaklade za znanost.

Pri Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu nositelj je predmeta Motorička kontrola na Sveučilišnom integriranom studiju kineziologije i predmeta Kontrola ljudskog pokreta – neurofiziološki aspekti na Sveučilišnom doktorskom studiju kineziologije. Suvoditelj je Laboratorija za motoričku kontrolu i izvedbu u kojem sa suradnicima provodi istraživanja funkcije i transformacije živčanomišićnog sustava čovjeka.

Objavio je >50 znanstvenih radova u vodećim međunarodnim znanstvenim časopisima u području kineziologije. Radovi koje je objavio citirani su >800 puta (Web of Science, Scopus) odnosno >1600 puta (Google Scholar). Bio je recenzentom 20-ak vodećih međunarodnih znanstvenih časopisa iz područja kineziologije. Bio je mentorom više od 20 magistara kineziologije i mentorom dvoje doktora znanosti. Član je panela Hrvatske zaklade za znanost za procjenu projektnih prijedloga u području Znanosti o životu.

SADRŽAJ

1.	UVOD U PROBLEM.....	1
1.1.	Važnost razvoja mišićnog fitnesa kod djece i adolescenata.....	1
1.2.	Trening s otporom.....	2
1.3.	Pliometrijski trening.....	3
1.3.1.	Ciklus istezanja i skraćivanja mišića.....	4
1.3.2.	Povezanost ciklusa istezanja i skraćivanja mišića s poboljšanjem sportske izvedbe	6
1.4.	Skakački trening.....	7
1.5.	Rast, razvoj i biološko sazrijevanje.....	9
1.5.1.	Dob pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine.....	11
1.5.2.	Vrijednost vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine	13
1.5.3.	Povezanost dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine i razdoblja ubrzane prilagodbe na sportski trening.....	14
1.6.	Problem istraživanja	16
2.	CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	20
3.	METODE ISTRAŽIVANJA.....	21
3.1.	Ispitanici.....	21
3.2.	Uzorak varijabli, protokol testiranja, trenažna intervencija	24
3.2.1.	Antropometrijska mjerenja.....	26
3.2.2.	Procjena biološke dobi	27
3.2.3.	Testiranje izvedbe skokova	30
3.2.4.	Testiranje izvedbe sprinta.....	31
3.2.5.	Testiranje jakosti mišića opružaca potkoljenice.....	31
3.2.6.	Trenažna intervencija	32
3.3.	Statističke analize.....	37
4.	REZULTATI.....	38

4.1.	Promjene u izvedbi sprinta u skupinama biološki mlađih i biološki starijih dječaka	40
4.2.	Promjene u izvedbi skokova u skupinama biološki mlađih i biološki starijih dječaka	41
4.3.	Promjene u izokinetičkoj jakosti mišića opružaca potkoljenice u skupinama biološki mlađih i biološki starijih dječaka	45
4.4.	Promjene u živčanomišićnoj izvedbi u skupinama biološki mlađih i biološki starijih dječaka prikazane veličinom učinka	47
5.	RASPRAVA.....	49
5.1.	Usporedba učinaka na izvedbu između skakačke trenažne intervencije i redovnog programa Tjelesne i zdravstvene kulture.....	50
5.2.	Usporedba promjena u izvedbi nakon skakačke trenažne intervencije između biološki mlađih i biološki starijih dječaka	53
5.2.1.	Promjene u izvedbi sprinta.....	53
5.2.2.	Promjene u izvedbi skokova	56
5.2.3.	Promjene u jakosti mišića opružaca potkoljenice	60
5.3.	Testiranje hipoteza	62
5.4.	Praktična značajnost opaženih učinaka skakačke trenažne intervencije.....	64
5.5.	Prednosti i ograničenja istraživanja	66
6.	ZAKLJUČAK	69
7.	LITERATURA.....	70
8.	ŽIVOTOPIS AUTORA.....	84
9.	OBJAVLJENI ZNANSTVENI RADOVI AUTORA.....	85

1. UVOD U PROBLEM

1.1. Važnost razvoja mišićnog fitnesa kod djece i adolescenata

Mišićni fitnes (eng. *muscular fitness*) predstavlja pojam pod kojim podrazumijevamo mišićnu jakost, mišićnu snagu i lokalnu mišićnu izdržljivost (Smith i sur., 2014). Posljednjih nekoliko desetljeća primjećen je trend opadanja vrijednosti kod djece i adolescenata u sve tri spomenute komponente mišićnog fitnesa (Tomkinson i sur., 2003; Runhaar i sur., 2010; Cohen i sur., 2011). Osobito zabrinjava trend pada mišićnog fitnesa ukoliko ga promatramo iz zdravstvene perspektive. Naime, rezultati meta analiza ukazuju na inverznu povezanost između mišićnog fitnesa s jedne, i prevalencije ukupne i centralne pretilosti, kardiovaskularnih bolesti i metaboličkih rizičnih čimbenika kod djece i adolescenata s druge strane (Smith i sur., 2014). Nasuprot tome, pozitivna povezanost je uočena između mišićnog fitnesa s jedne, i zdravlja koštanog sustava i samopoštovanja s druge strane (Smith i sur., 2014).

Osim što je kvalitetan pokazatelj zdravstvenog stanja, mišićni fitnes predstavlja temelj sportske izvedbe djece i adolescenata koji istu mogu značajno poboljšati povećanjem opsega vježbi za razvoj mišićne snage, mišićne jakosti i lokalne mišićne izdržljivosti (Granacher i sur., 2016). Pozitivni učinci treninga s otporom u kontekstu poboljšanja mišićnog fitnesa kod zdrave netrenirane djece i adolescenata opisani su u preglednim radovima (Benson i sur., 2008), meta analizama (Behringer i sur., 2010) i smjernicama za trening s otporom kod djece i adolescenata (Behm i sur., 2008). Literatura ukazuje kako je trening s otporom generalno učinkovit u poboljšanju mišićnog fitnesa kod djece i adolescenata koji se ne bave organiziranim sportom (Falk i Tenebaum, 1996; Payne i sur., 1997; Behringer i sur., 2010) pri čemu se veličina učinka, zavisno o biološkoj dobi, kronološkoj dobi, spolu i vrsti mišićne akcije (izometrični, izotonični, izokinetički protokoli), kretala u rasponu od 0,20 (trivijalna) do 1,91 (velika). Rezultati spomenutih istraživanja samo se

djelomično mogu interpretirati u sportsko-natjecateljskom kontekstu jer se fiziologija i kvaliteta sportske izvedbe značajno razlikuje između mladih sportaša i netrenirane populacije istog uzrasta (Armstrong i McManus, 2011). Drugim riječima, specifične fiziološke karakteristike mladih sportaša, razina stručnosti i trening iskustvo imaju utjecaj na stanje njihove treniranosti (Lloyd i sur., 2015), stoga je za očekivati kako će mladi sportaši uslijed intervencije treningom s otporom ostvariti veći napredak u poboljšanju mišićnog fitnesa od svojih vršnjaka nesportaša.

1.2. Trening s otporom

Trening s otporom (eng. *resistance training*), predstavlja način vježbanja u kojem vježbač koristi različite oblike opterećenja s ciljem poboljšanja zdravlja, tjelesnih sposobnosti i sportske izvedbe (Faigenbaum i sur., 2009; Lloyd i sur., 2012 i 2014). Različiti oblici treninga s otporom kod djece i adolescenata uključuju korištenje mase vlastitog tijela i/ili tijela suvježbača, trenažere, utege, elastične trake i medicinske lopte, a ovakav način vježbanja može uključivati i kompleksnije kretnje kao što su olimpijsko dizanje utega, pliometrijski trening i trening ravnoteže (Behm i sur., 2008). Dvije su temeljne smjernice treninga s otporom kod djece i adolescenata: (1) sve mlade osobe trebaju se poticati na uključivanje u siguran i učinkovit trening s otporom najmanje dva puta tjedno; (2) trening s otporom treba biti sastavni dio uravnoteženih vježbi i programa Tjelesne i zdravstvene kulture (Stratton i sur., 2004). Osim toga, trenutne smjernice za trening s otporom kod mladih osoba Udruženja kondicijskih trenera Velike Britanije (eng. *United Kingdom Strength and Conditioning Association*) ističu kako djeca i adolescenti mogu povećati rizik negativnih zdravstvenih stanja tijekom mladenaštva ukoliko ne sudjeluju u tjelesnoj aktivnosti koja je u stanju razviti njihovu mišićnu jakost i poboljšati motoričku izvedbu (Lloyd i sur., 2014).

Učinkovitost treninga s otporom u kontekstu poboljšanja tjelesnih sposobnosti, ponajbolje se očituje u poboljšanju mišićnog fitnesa (Schmidtbleicher, 1992). Premda je u prošlosti bilo zabrinutosti oko treninga mišićne jakosti kod djece koja nisu ušla u razdoblje puberteta, koncept njihovog sudjelovanja u treningu s otporom znanstvenicima je u posljednja dva desetljeća sve zanimljiviji. Danas postoje mnogobrojna istraživanja koja podržavaju redovito sudjelovanje djece

i adolescenata u treningu s otporom, a naglašava se da takav način vježbanja polučuje najbolje rezultate ukoliko je vođen od strane kvalificirane osobe, te podređen njihovim potrebama, ciljevima i sposobnostima (Lloyd i sur., 2014). Trening s otporom kod mladih osoba može izazvati značajno poboljšanje u područjima: mišićne jakosti (Chaouachi i sur., 2014), mišićne snage (Zribi i sur., 2014), brzine (Lloyd i sur., 2012), agilnosti (Sohnlein i sur., 2014), ravnoteže (Arazi i Asadi, 2011) i sportske izvedbe (Siti i sur., 2014). Istraživanja također ukazuju kako trening s otporom kod mlade osobe može izazvati pozitivne promjene na cjelokupni sastav tijela (Schwingshandl i sur., 1999), reducirati potkožno masno tkivo (Benson i sur., 2008), poboljšati osjetljivost na inzulin kod adolescenata s prekomjernom tjelesnom masom (Shaibi i sur., 2006) i poboljšati funkciju srčanožilnog sustava kod pretila djece (Naylor i sur., 2008). Redovito sudjelovanje djece i adolescenata u prikladno dizajniranom trenažnom programu koji uključuje i trening s otporom, može povećati mineralnu gustoću kostiju i poboljšati zdravlje zglobnog i koštanog sustava (Bass, 2000), te vjerojatno smanjiti sport-specifične ozljede (Valovich-McLeod i sur., 2011). Potrebno je istaknuti kako najveći učinak na gustoću kostiju ima pliometrijski trening i to ponajprije kod djece rane pubertetske dobi (MacKelvie i sur., 2001), a osim toga, istraživanja su pokazala kako pliometrijski programi integrirani u sustav školstva pozitivno utječu na strukturu i jakost kostiju kod djece predpubertetske dobi (Weeks i sur., 2008). Svjetska zdravstvena organizacija (eng. *World Health Organization*), kao i druge agencije koje skrbe o javnom zdravlju, trening s otporom redovito uključuju u smjernice tjelesnog vježbanja djece i adolescenata (Department of Health, Physical Activity, Health Improvement and Protection, 2011). Unatoč nastojanjima zdravstvenih i sportskih djelatnika da se mlade osobe uključe u programe treninga s otporom, sve veći broj istraživanja ukazuje da je razina mišićne jakosti kod školske djece u opadanju (Cohen i sur., 2011; Moliner-Urdiales i sur., 2010; Runhaar i sur., 2010).

1.3. Pliometrijski trening

Danas se pliometrijski trening (eng. *plyometric training*), uz ostale oblike treninga s otporom, smatra temeljnom komponentom promoviranja zdravog načina života mladih osoba (Global recommendations on physical activity for health, 2010), a predstavlja aktivnost koja

uključuje poskoke, skokove, naskoke-saskoke i „šok” vježbe koje u svojoj izvedbi sadrže ciklus istezanja i skraćivanja mišića. Pliometrijski trening uvelike se razlikuje od tradicionalnog treninga s otporom u pogledu brzine pokreta tijekom izvođenja vježbi. Naime, ekscentrične i koncentrične mišićne akcije izvode se u izravnom slijedu kako bi se iskoristili pozitivni učinci ciklusa istezanja i skraćivanja mišića na mehanički izlaz mišića (Peitz i sur., 2018). Slikovito se pliometrijski trening može opisati kao način vježbanja koji kapitalizira ciklus istezanja i skraćivanja mišića kako bi se povećala efikasnost proizvodnje sile u zglobu i poboljšala sportska izvedba. Upravo je ciklus istezanja i skraćivanja mišića zaslužan za veliku popularnost pliometrijskog treninga i njegovu ulogu mosta koji povezuje čistu mišićnu jakost i sport-specifičnu mišićnu snagu i brzinu (Cordasco i sur., 1996; Chu i Myer, 2013). Mišićna jakost se definira kao maksimalna sila ili napetost koju mišić ili skupina mišića mogu generirati pri određenoj brzini (Knuttgen i Kraemer, 1987). Poboljšanje maksimalne mišićne jakosti, kao primarne dimenzije mišićnog fitnesa, rezultira istodobnim poboljšanjem mišićne snage i mišićne izdržljivosti (Schmidtbleicher, 1992). Dinamičan mišićni rad u kojem se svladavaju velike sile pri velikim brzinama kretanja temelj su za proizvodnju energije, stoga mišićnu snagu možemo definirati kao brzinu (eng. *rate*) kojom mišići obavljaju rad (snaga = rad / vrijeme; Smith i sur., 2014). Shodno navedenom, pliometrijski trening se jednostavnije može definirati kao način vježbanja koji povezuje mišićnu snagu s brzinom kretanja (Faigenbaum i Chu, 2001), a zavisno od trajanja kontakta s podlogom, definiraju ga brzi (≤ 250 ms) i spori (≥ 251 ms) ciklusi istezanja i skraćivanja mišića (Schmidtbleicher, 1992).

1.3.1. Ciklus istezanja i skraćivanja mišića

Ciklus istezanja i skraćivanja mišića (eng. *stretch-shortening cycle*), kojeg karakterizira početna ekscentrična i posljedična koncentrična mišićna akcija, čini temelj ljudske lokomocije (Komi, 2000). U literaturi nailazimo na različite opise fenomena ciklusa istezanja i skraćivanja mišića, a te se razlike prvenstveno odnose na broj faza koje opisuju ovaj karakterističan obrazac kretanja. Grupa autora ciklus istezanja i skraćivanja mišića dijeli u dvije faze, odnosno ekscentričnu i koncentričnu (Chimielewski i sur., 2006; Knuttgen i Kraemer, 1987), dok ga druga skupina dijeli u tri faze: ekscentričnu, fazu tranzicije i koncentričnu (Wilk i Arrigo, 1993; Davies i Matheson,

2001; Lloyd i sur., 2012). Neki autori ciklus istezanja i skraćivanja mišića dijele u pet faza pri čemu prethodno navedenim fazama dodaju još dvije koje opisuju početak, odnosno završetak djelovanja impulsa odgovornog za ciklus istezanja i skraćivanja mišića (Stiff, 2004). Ipak, u literaturi najčešće nailazimo na opis ciklusa istezanja i skraćivanja mišića u tri faze. Početna faza tog ciklusa podrazumijeva brzo istezanje mišićnotetivnih jedinica (eng. *muscle-tendon units*) uslijed kinetičke energije ili punjenja u pojedinom zglobu i naziva se ekscentričnom fazom. Kinetička energija može biti dobivena od prethodne kontrakcije, vanjskog izvora ili pokreta u suprotnu stranu (Chu i Myer, 2013). U literaturi se spominju i drugi nazivi - faza istezanja; punjenja; negativnog rada; deceleracije; savitljivosti; zamaha i podizanja. Upotreba termina primarno ovisi o pliometrijskom pokretu kojeg autori opisuju (Chmielewski i sur., 2006; Bobbert i sur., 1996; Chu, 1984; Davies i Matheson, 2001; Bosco i sur., 1982). Bez obzira na različitu terminologiju, ova faza predstavlja trenutak kada centar mase sportaševa tijela dosegne najnižu točku i kada se brzina centra mase tijela smanji do nule. Druga faza ciklusa istezanja i skraćivanja mišića predstavlja tranzicijsko razdoblje prije koncentrične kontrakcije (Lloyd i sur., 2012), odnosno kratki amortizacijski period spajanja ekscentričnog i koncentričnog mišićnog rada i naziva se izometričnom (ili amortizacijskom) fazom. Premda nema vidljivog pokreta, istraživanja su ukazala kako malena pomicanja mišićnih vlakana tijekom ove faze ipak postoje (Chu i Myer, 2013). U trećoj, koncentričnoj fazi ciklusa istezanja i skraćivanja mišića dolazi do skraćivanja mišićnotetivnih jedinica i pražnjenja pohranjene kinetičke energije, što može rezultirati snažnim dinamičnim pokretom. Iako se u ovoj fazi najbolje vidi impresivnost sportske izvedbe, valja naglasiti kako je skladnost izvedbe rezultat sportaševog ulaganja u sposobnost vlastitog tijela da apsorbira kinetičku energiju kroz fazu istezanja mišića uslijed vanjskog opterećenja. Sinergija mišića dok se izmjenjuju kroz pojedine faze (ekscentričnu, kratku izometričnu, koncentričnu), u konačnici je ono što određuje stečene koristi karakterističnog pliometrijskog načina vježbanja poznatog pod nazivom ciklus istezanja i skraćivanja mišića. Može se slikovito zaključiti kako ekscentrična faza ciklusa istezanja i skraćivanja mišića predstavlja fazu investiranja u „banku sportske izvedbe”, dok koncentrična faza predstavlja isplatu, odnosno povratak tog investiranja (Chu i Myer, 2013).

1.3.2. Povezanost ciklusa istezanja i skraćivanja mišića s poboljšanjem sportske izvedbe

Ciklus istezanja i skraćivanja mišića dovodi do adaptacija na živčanomišićnoj, koštanoj i mišićnotetivnoj razini, te govorimo o poboljšanoj pohrani i upotrebi elastične energije (Bojsen-Moller i sur., 2005); povećanju radnog područja aktiviranog mišića (Bobbert i Casius, 2005); poboljšanju reakcije nesvjesnih živčanih refleksa (Bosco i sur., 1987); poboljšanju vremena trajanja napetosti mišića (Finni i sur., 2001); povećanju mišićne pred-aktivacije (McBride i sur., 2008) i poboljšanju mišićne koordinacije (Bobbert i Casius, 2005). Mnogobrojna istraživanja su pokazala da poboljšanje navedenih svojstava nedvojbeno dovodi do poboljšanja sportske izvedbe, međutim sportski znanstvenici još uvijek pokušavaju rasvijetliti koji su pozadinski mehanizmi primarni, odnosno koji najbolje objašnjavaju fenomen ciklusa istezanja i skraćivanja mišića. Iako konsenzus nije postignut, ističe se važnost tri mehanizama:

1. Pohrana elastične energije: Tijekom izvođenja pliometrijskih skokova mišićnotetivne jedinice, prvenstveno tetive (Kubo i sur., 1999; Lichtwark i Wilson, 2007), se u ekscentričnoj fazi mišićne akcije istežu i pohranjuju energiju, da bi se u koncentričnoj fazi mišićne akcije naglo skratile, te pružile mišićima optimalan položaj za veću proizvodnju sile. Količina pohranjene energije hipotetski je jednaka količini aplicirane sile i induciranoj deformaciji tkiva (Turner i Jeffreys, 2010; Wilson i Flanagan, 2008). Iskoristiva elastična energija u mišićnotetivnim jedinicama može biti pohranjena kratko vrijeme, te ukoliko koncentrična mišićna akcija ne nastupi odmah nakon ekscentrične mišićne akcije, odnosno faza kontakta stopala s podlogom traje predugo, potencijalna energija se pretvara u toplinu. Važnu ulogu u kontekstu pohrane i iskoristivosti elastične energije ima i krutost nogu (eng. *leg stiffness*), pri čemu se integriraju komponente krutosti mišića, tetiva i ligamenata u zglobu, a koja je u negativnoj korelaciji s trajanjem kontakta stopala s podlogom (Wertheimer, 2015). Veća krutost donjih ekstremiteta tijekom ciklusa istezanja i skraćivanja mišića uzrokuje veću pohranu i kvalitetnije iskorištavanje elastične energije (Komi, 2003), pri čemu se naglašava da su sportaši s većom razinom mišićne jakosti u stanju apsorbirati više elastične energije, što im omogućava i bolju iskoristivost ciklusa istezanja i skraćivanja mišića;

2. Živčani refleksi: Mišići i tetive sadrže kinestetičke receptore - proprioceptore. Njihova uloga je slanje informacija mozgu o promjenama u duljini i napetosti mišića i tetiva, te promjenama vezanim za položaj samog zgloba (McArdle i sur., 2010). Proprioceptore unutar mišića nazivamo mišićna vretena, a proprioceptore u tetivi Golgievi tetivni organi. Prilikom snažnog mišićnog istezanja, kada se duljina mišićnih vlakana naglo povećava, mišićna vretena aktiviraju obrambenu reakciju koji ima ulogu sprječavanja prekomjernog produljenja mišića, odnosno mogućeg oštećenja mišićnih vlakana. Ta obrambena reakcija naziva se refleks na istezanje (eng. *stretch reflex*) ili miotatički refleks, a sastoji se u mišićnoj kontrakciji (tj. skraćivanju mišićnih vlakana) kao odgovoru na mišićno istezanje (tj. produljenje mišićnih vlakana). Aktivacija refleksa na istezanje u brzom ekscentričnom fazi ciklusa istezanja i skraćivanja mišića teoretski može pridonijeti većem mehaničkom izlazu mišića pri koncentričnoj fazi ciklusa;
3. Mišićna pred-aktivacija: Povećanje mišićne aktivacije predstavlja razdoblje razvijanja sile tijekom ekscentrične faze mišićne akcije i faze amortizacije ciklusa istezanja i skraćivanja mišića, odnosno vremenski period prije koncentrične faze mišićne akcije ciklusa istezanja i skraćivanja mišića. Izvedba pliometrijskih skokova u kojima ekscentrična faza mišićne akcije i faza amortizacije dulje traju, omogućavaju povećanje koncentrične mišićne izlazne sile. To povećanje količine sile i vremena potrebnog da se sila razvije dovodi do istodobnog povećanja impulsa sile ($\text{impuls} = \text{sila} \times \text{vrijeme}$; Bobbert i sur., 1996). Drugim riječima, povećanje aplicirane sile dovodi do poboljšanja u izlaznoj snazi, što za posljedicu ima poboljšanje sportske izvedbe.

1.4. Skakački trening

Skokovi predstavljaju prirodne pokrete karakteristične za ljude i većinu životinja pri kojima se tijelo za kratko vrijeme odvađa od podloge uslijed višestrukih mišićnih kontrakcija koje uzrokuju promjene u dužini i napetosti mišića na načine koji vremenski variraju (Biewener, 2003). Stanice skeletnog mišića su izvršitelji odgovorni za voljni, posebno usklađeni skakački pokret, za čiju

izvedbu je prijeko potrebna djelatnost dvaju ili više mišića (Berne i Levy, 1993). Skokovi se mogu izvoditi na različite načine i kriteriji za njihovo grupiranje mogu biti vrlo različiti. Jednu od mogućih podjela skokova prikazao je Baković (2016; Tablica 1.) koji navodi kako danas u kineziološkoj i fizioterapijskoj praksi egzistira gotovo 200 različitih vrsta skokova te da se veliki broj različitih skokova može uočiti i pri dječjoj spontanoj igri.

Tablica 1. Kriterijsko - modalitetna klasifikacija skokova prema Bakoviću (2016).

K R I T E R I J		M O D A L I T E T
S M J E R K R E T A N J A	na mjestu	vertikalno
	s mjesta u kretanje	horizontalno naprijed horizontalno unazad lateralno ulijevo lateralno udesno
	u kretanju	horizontalno naprijed horizontalno unazad lateralno ulijevo lateralno udesno
	u kretanju s promjenama smjera	naprijed - nazad lijevo - desno cik - cak iz horizontalnog u vertikalno ili lateralno iz lateralnog u vertikalno ili horizontalno
L A T E R A L N O S T		unilateralno bilateralno
M I Š I Ć N I R E Ž I M R A D A		koncentrični ekscentrično - koncentrični
N A Č I N K O N T A K A T A S T O P A L A S P O D L O G O M		preko prednjeg dijela stopala preko stražnjeg dijela stopala preko cijele površine stopala
U P O T R E B A Z A M A H A R U K A M A		bez zamaha sa zamahom

U današnje vrijeme skakački trening (eng. *jump training*) predstavlja vrlo popularan oblik aktivnosti zdravih osoba koji se koristi u svrhu poboljšanja skakačkih tehnika i sposobnosti te mišićne jakosti, mišićne snage, agilnosti i izvedbi sprinta (Holcomb i sur., 1998; Marković i Mikulić, 2010). Kod osobe koja izvodi skokove odvijaju se različite vrste mišićnih akcija:

ekscentrična, izometrična i koncentrična. U ekscentričnoj vrsti mišićne akcije, agonisti se kontrahiraju kako bi učinili brzu deceleraciju i zaustavili brzo spuštanje centra mase tijela prema dolje, kojom prilikom se izdužuju i apsorbiraju energiju (Perez-Gomez i Calbet, 2013). U izometričnoj vrsti mišićne akcije ne dolazi do pokreta u zglobovima, ali mišićna vlakna i dalje se aktiviraju uslijed promjene u primjeni sile i napetosti (Terada i sur., 2013). Tijekom koncentrične vrste mišićne akcije centar mase tijela se ubrzava prema gore, kojom prilikom dolazi do snažnog i brzog kontrahiranja mišića, odnosno njihovog voljnog skraćivanja koje je kontrolirano od strane središnjeg živčanog sustava (Laffaye i sur., 2016). Skakačkim treningom moguće je zasebno razvijati ekscentričnu, izometričnu i koncentričnu jakost. Ukoliko se sve tri vrste mišićne akcije (ekscentrična, vrlo kratka izometrična i koncentrična) događaju u izravnom slijedu, razvija se karakteristična ekscentrično-koncentrična jakost, odnosno govorimo o pliometrijskom treningu.

1.5. Rast, razvoj i biološko sazrijevanje

Termini koji definiraju procese rasta, razvoja i biološkog sazrijevanja vrlo često se koriste kao sinonimi, premda u njihovom međusobnom odnosu postoje fundamentalne i semantičke razlike, a važno je naglasiti kako se ovi procesi javljaju istovremeno i u međusobnoj su interakciji (Baxter-Jones i sur., 2005). Rast je složena kvantitativna pojava do koje dolazi tijekom ljudskog razvoja, a podrazumijeva promjene u veličini cijelog tijela ili njegovih pojedinih dijelova. Djeca se tijekom života razvijaju te postaju viša i teža, povećava se količina njihove mišićne mase i potkožnog masnog tkiva, njihovi organi se povećavaju, itd. Različiti dijelovi tijela imaju različito vrijeme početka i završetka rasta, te različitu brzinu rasta. Drugi najveći prirast u visinu, kao i nagli prirast u svim parametrima koji se općenito odnose na tijelo, događa se kada djeca uđu u razdoblje adolescencije, odnosno puberteta (Baxter-Jones i sur., 2005).

Razvoj u općem biološkom smislu predstavlja proces sveukupnog anatomske morfološkog, funkcionalnog i reproduktivnog nastanka osobe od njenog začeća do pune spolne zrelosti, a pojedine razvojne etape nisu obavezno praćene i rastom organizma i obrnuto. Ukoliko razvoj promatramo prvenstveno kroz psihosocijalni aspekt i aspekt ponašanja, on se može protegnuti do

zrelog doba odrasle osobe, odnosno do oko 40. kronološke godine. Kulturološki je uvjetovan, odnosno djeca se spoznajno, sociološki, emocionalno, moralno i na druge načine razvijaju na osnovu iskustava doživljenih tijekom života. Drugim riječima, razvoj se odnosi na proces u kojem se djeca i adolescenti uče ponašati u skladu s uvriježenim društveno kulturološkim normama ponašanja (Baxter-Jones i sur., 2005).

Biološko sazrijevanje se odnosi na proces progresije rasta djeteta sve do faze odrasle osobe i nije povezano s vremenom u kronološkom smislu. Tijekom djetinjstva i adolescencije, mlade osobe iste kronološke dobi mogu se značajno razlikovati u stupnju biološke zrelosti. Proces sazrijevanja uključuje dvije komponente: vrijeme i tempo. Vrijeme se odnosi na pojavljivanje specifičnih događaja (npr. godina u kojoj se javlja menarha, godina u kojoj dolazi do razvoja grudi, godina u kojoj se javljaju pubične dlake, dob u kojoj dolazi do vršne brzine prirasta u visinu tijekom adolescentskog rasta ili dob u kojoj dolazi do vršne brzine prirasta tjelesne mase tijekom adolescentskog rasta). Tempo se odnosi na brzinu, odnosno progresiju procesa sazrijevanja (npr. koliko brzo ili sporo pojedinac prelazi iz početne faze spolnog sazrijevanja u fazu odrasle osobe). Proces biološkog sazrijevanja kontinuirano se odvija tijekom djetinjstva i adolescencije. Učinci povezani s biološkim sazrijevanjem mlade osobe vrlo često su prikriveni i mogu biti veći od učinaka povezanih s tjelovježbom, odnosno sportskim treningom (Baxter-Jones i sur., 2005).

Posljednjih godina sve je više istraživanja u području sportskog treninga djece i adolescenata, te se znanstvenicima nameće pitanje: na koji način odvojiti nezavisne učinke rasta i razvoja od onih vezanih za vanjske čimbenike. Odgovor nastoji ponuditi auksologija (eng. *auxology*) na temelju proučavanja općih načela ljudskog rasta, sazrijevanja i razvoja. Današnji koncept rasta i biološkog sazrijevanja utemeljen je na radovima eminentnih auksologa koji su davno prepoznali razlike u biološkom sazrijevanju djece (Tanner, 1962; 1981 i 1989; Cameron, 2002; Malina i sur., 1996 i 2004). U literaturi koja se bavi proučavanjem sportskog treninga mladih osoba, termin djeca uglavnom se odnosi na djevojčice do 11., odnosno dječake do 13. kronološke godine, dok termin adolescencija uglavnom podrazumijeva život mlade osobe u periodu između djetinjstva i mladenaštva (Faigenbaum i sur., 2009; Lloyd i sur., 2014). Iako je period adolescencije teško definirati u smislu kronološke dobi zbog razlika u razvojnim razdobljima (Malina i sur., 2004), adolescentima se smatraju djevojčice od 12. do 18., odnosno dječaci od 14. do 18.

kronološke godine. Uzorak ispitanika u ovom doktorskom radu činili su učenici sedmih i osmih razreda osnovne škole, koji su u vrijeme provođenja istraživanja bili u 12., 13., i 14. kronološkoj godini, te se shodno navedenoj terminologiji nazivaju predadolescentima, odnosno adolescentima. Razdoblje 12.-14. kronološke godine mladih osoba karakterizira izrazito razlikovanje u morfološkim, motoričkim i funkcionalnim značajkama. U sportskom treningu potrebno je uvažavati činjenicu da djeca iste kronološke dobi mogu biti superiorna ili inferiorna u odnosu na svoje vršnjake zbog nejednakog stupnja biološke dobi. Jedan od načina određivanja biološke dobi je procjena dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine (eng. *age at peak height velocity*).

1.5.1. Dob pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine

Kronološka dob nije dobar pokazatelj stanja zrelosti mladih osoba za razdoblje od njihove 10. do 16. kronološke godine. Kvalitetniju alternativu predstavlja procjena biološke dobi. Polazište za razumijevanje takve procjene jest činjenica da jedna kronološka godina nije ekvivalent jednoj biološkoj godini. Za procjenu biološke dobi može se koristiti bilo koji pokazatelj koji ukazuje i definira sekvencijalnu promjenu na bilo kojem dijelu tijela kojeg karakterizira progresija rasta od faze nezrelosti do zrele dobi (Cameron, 2002). Više je metoda koje se koriste za procjenu biološke dobi: starost kostura na temelju trenutnog stupnja procesa okoštavanja, dentalna dob, morfološka dob, sekundarne spolne karakteristike na osnovu Tannerove klasifikacije, samoprocjena stanja sekundarnih spolnih karakteristika, pojava menarhe, različite somatske značajke kao što su dob pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine i dob pri vršnoj brzini prirasta tjelesne mase. Procjena starosti kostura zahtjeva skupu opremu i stručnu interpretaciju rezultata mjerenja, a osim toga povlači sa sobom pitanje sigurnosti zračenja. Premda se ova metodologija može koristiti tijekom cijele faze rasta, odnosno od rođenja do faze zrelosti, zbog navedenih nedostataka nije raširena i primjenjiva na terenu. Isto se može reći i za dentalnu dob i morfološku dob koje predstavljaju tehnike s ograničenom primjenjivošću. Procjena stanja sekundarnih spolnih karakteristika na temelju Tannerove klasifikacije je invazivna metoda ograničena samo na razdoblje adolescencije, dok se kod samoprocjene ili procjene koju vrše roditelji postavlja pitanje pouzdanosti izmjerenih rezultata (Rasmussen i sur., 2015).

Zbog svoje praktične primjenjivosti jedan od popularnijih načina određivanja biološke dobi je procjena dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine, koja predstavlja period u kojem adolescent doživljava najbrži prirast u visinu, odnosno vrijeme u kojem najbrže raste za vrijeme adolescentskog rasta (Lloyd i Oliver, 2012). Ova metoda omogućava određivanje trenutnog stupnja tjelesnog razvoja, odnosno onoga koje tek slijedi, neovisno o djetetovoj kronološkoj dobi (Mirwald i sur., 2002). Uvriježena pogrešna predodžba razdoblje adolescencije prikazuje kao period života u kojem se doživljava najveći prirast u visinu. Međutim, najveći prirast u visinu događa se po rođenju, tijekom prve godine života, kada prosječno muško dijete naraste 26 cm godišnje, a prosječno žensko dijete 25 cm godišnje (Growth Charts - Data Table of Infant Length-for-age Charts, 2001). Početak adolescentskog ubrzanog rasta u visinu kod djevojčica se javlja između 11. i 13. kronološke godine, odnosno dvije godine ranije nego kod dječaka, kod kojih se javlja između 13. i 15. kronološke godine (Rogol i sur., 2000; Malina i sur., 2004; Malina, 2011). Podaci pokazuju kako se vršna brzina prirasta tjelesne visine kod dječaka iz Sjeverne Amerike i Europe javlja oko 14. kronološke godine (Malina i sur., 2004; Rumpf i sur., 2012), a već u 15. kronološkoj godini dijete dostigne 94 % od visine koja se očekuje u odrasloj dobi (Malina i sur., 2004 i 2005). Tijekom adolescentskog ubrzanog rasta u visinu, prosječan dječak dosegne vrijednost vršne brzine prirasta tjelesne visine od 8,3 cm, a prosječna djevojčica od 7,8 cm (Growth Charts - Data Table of Stature-for-age Charts, 2001). Ovi podaci temelje se na 50. percentilu, odnosno prosječnoj vrijednosti mladih osoba iz Sjedinjenih Američkih Država i ekstrahirani su iz statističke baze Centra za kontrolu bolesti (Growth Charts – Data Table of Infant Length-for-age Charts, 2001; Growth Charts - Data Table of Stature-for-age Charts, 2001). Drugi izvještaji pišu da djevojčice u ovom razdoblju dosežu prosječnu visinu od devet cm godišnje (5,4 - 11,2 cm), a dječaci prosječnu visinu od 10,3 cm godišnje (5,8 - 13,1 cm; Neinstein i Kaufman, 2002). Iako dječaci kasnije ulaze u fazu ubrzanog adolescentskog rasta u visinu od djevojčica, njihov vršni prirast u visinu je uglavnom veći (Beunen i Malina, 1988). Bez obzira što trenirani dječaci imaju tendenciju bržeg biološkog sazrijevanja od netrenirane djece (Malina, 2011), mnogobrojna longitudinalna istraživanja su pokazala da kod dječaka nema razlike u početku vršne brzine prirasta tjelesne visine s obzirom na stanje treniranosti (Bell, 1993; Froberg i sur., 1991; Philippaerts i sur., 2006; Sprynarová, 1987).

Početak vršne brzine prirasta tjelesne visine podudara se s početkom puberteta kojeg karakteriziraju dinamična fizička i biološka događanja: nagle promjene u brzini rasta koje zahvaćaju sve dijelove tijela, uključujući dugačke kosti, kralješke, srce, pluća, potkožno masno tkivo i mišićnu masu; velike promjene u veličini i obliku tijela; promjene u relativnom omjeru između mišića, potkožnog masnog tkiva i kostiju; promjene stanja različitih fizioloških funkcija (Tanner, 1989). Tijekom puberteta dolazi do pojačane fluktuacije određenih hormona koji imaju utjecaj na ubrzani rast, poput: hormona rasta, tiroksina, inzulina, kortikosteroida, leptina, paratiroidnog hormona, 1-25-dihidroksi vitamina D i kalcitonina. Ipak, najveći utjecaj na adolescentski ubrzani prirast u visinu ima hormon rasta (eng. *growth hormone-releasing hormone, GHRH*) i somatostatin (eng. *somatostatin (SS) / growth hormone-inhibiting hormone (GHIH*; Hannaman, 2003).

1.5.2. Vrijednost vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine

Protokol za procjenu biološke dobi naziva vrijednost vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine (eng. *peak height velocity maturity offset value*) u praksi se primjenjuje posljednjih dvadesetak godina. Pomoću tog protokola predviđa se dob u kojoj se očekuje da dijete dosegne najviši prirast u visinu tijekom adolescentskog rasta. Drugim riječima, vrijednost vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine je jednostavna, neinvazivna metoda koja može pomoći u predviđanju dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine (Mirwald i sur., 2002). Procjena vrijednosti vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine uz pomoć ove metode zahtjeva kvalitetno evidentiranje određenih podataka o ispitaniku: spol, nadnevak mjerenja, nadnevak rođenja, visinu tijela u centimetrima iz stojećeg položaja, sjedeću visinu u centimetrima, duljinu noge u centimetrima i masu tijela u kilogramima. Prethodno navedeni podaci trebaju biti precizno izmjereni, jer i mala pogreška pri mjerenju može drastično promijeniti rezultate. Dobiveni podaci se stavljaju u regresijsku jednadžbu kako bi se procijenila trenutna biološka dob ispitanika (Mirwald i sur., 2002). Procjena vrijednosti vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine se bazira na međusobnom odnosu duljine nogu i sjedeće visine, odnosno na činjenici da noge prije počnu s rastom od trupa,

odnosno dijela tijela koji predstavlja sjedeću visinu. Što je ispitanik bliže dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine to će i procjena biti točnija, a smatra se da je idealna dob za procjenu kod djevojčica razdoblje između devete i 13. kronološke godine, a kod dječaka razdoblje između 12. i 16. kronološke godine (Prediction of Age of Peak Height Velocity - University of Saskatchewan, 2015). Iako procjena vrijednosti vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine posjeduje značajnu pouzdanost, istraživanja ukazuju da je ova metoda najpouzdanija ukoliko se mjerenja vrše unutar same godine u kojoj se očekuje ubrzani adolescentski prirast tjelesne visine (Mirwald i sur., 2002).

1.5.3. Povezanost dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine i razdoblja ubrzane prilagodbe na sportski trening

Balyi i Hamilton (2004) u svom su radu predstavili termin senzitivne faze (eng. *windows of opportunity*) kojim objašnjavaju postojanje vremenskih razdoblja prije, tijekom i poslije dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine u kojima su mladi sportaši osjetljiviji na podražaje uslijed određenih vrsta treninga (npr. treninzi mišićne snage i brzine). Renomirani znanstvenici iz područja sportskog treninga mladih osoba Lloyd i Oliver (2012) nisu bili skloni prihvaćanju ove definicije iz razloga što termin implicira kako sportaši koji iskoriste senzitivne faze imaju veći potencijal za sportski uspjeh od onih koji to ne učine, te predstavljaju prihvatljiviji termin – razdoblja ubrzane prilagodbe (eng. *periods of accelerated adaptation*), koji sugerira da ta vremenska razdoblja samo pružaju priliku mladim sportašima da ostvare veća poboljšanja u sportskoj izvedbi nego što je to inače moguće. U istom radu (Lloyd i Oliver, 2012) objašnjavaju kako izračun vrijednosti vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine omogućava trenerima i sportskim znanstvenicima prilagodbu trenažnog programa svojih sportaša na temelju biološke dobi, što u konačnici pruža mogućnost za kvalitetnije i efikasnije iskorištavanje samog trenažnog programa. Predstavljajući model tjelesnog razvoja mlade osobe (eng. *Youth Physical Development Model*; Lloyd i Oliver 2012), autori ističu kako tijekom pred pubertetskog razdoblja posebnu pažnju treba posvetiti razvoju mišićne jakosti, mišićne snage, temeljnih motoričkih vještina (eng.

Fundamental Movement Skills), brzine i agilnosti. Autor ovog doktorskog rada držao se je spomenutih načela, što je prikazano u Tablici 2. Po ulasku u razdoblje adolescencije u trenažnom procesu naglasak treba staviti na sport-specifične vještine (eng. *Sport Specific Skills*), mišićnu snagu i povećanje mišićne mase. Nadalje, Lloyd i Oliver (2012) naglašavaju kako je svakom sportašu potrebno pristupiti individualno uzimajući u obzir spol, biološku dob i trenažno iskustvo, dok bi treninge trebale voditi adekvatno kvalificirane osobe koje bi bile u stanju djeci i adolescentima omogućiti razvoj holističkim pristupom.

Tablica 2. Tjelesni razvoj ispitanika s prikazom razdoblja ubrzane prilagodbe na sportski trening (modificirano prema Lloyd i Oliveru, 2012).

Kronološka dob (godine)	Razvojno razdoblje	Biološka dob	Trening adaptacija	Ubrzana prilagodba	Struktura treninga
12	pred adolescenti	dvije godine prije dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine	kombinacija živčane i hormonalne	agilnost brzina mišićna snaga mišićna jakost	umjerena
13	adolescenti	jedna godina prije dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine		agilnost brzina mišićna snaga mišićna jakost mišićna hipertrofija	
14		dob pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine			

1.6. Problem istraživanja

Učinci pliometrijskog načina vježbanja u kontekstu poboljšanja širokog spektra tjelesnih sposobnosti i sportske izvedbe djece i adolescenata prikazani su u preglednim radovima (Faigenbaum i sur., 2009; Lloyd i sur., 2014) i meta analizama (Behringer i sur., 2010 i 2011; Lesinski i sur., 2016; Behm i sur., 2017; Peitz i sur., 2018), međutim, dosadašnja istraživanja nisu u potpunosti rasvijetlila ulogu neurofizioloških mehanizama koji objašnjavaju ulogu ciklusa istezanja i skraćivanja mišića u poboljšanju sportske izvedbe mladih osoba. Trenažni protokol iz ovog istraživanja činile su uglavnom vježbe koje su sadržavale ciklus istezanja i skraćivanja mišića, te se očekuje da će rezultati ovog istraživanja pridonijeti boljem razumijevanju načina na koji skakački trening mijenja tjelesnu pripremljenost odnosno, konkretno, skakačku i sprintersku izvedbu, kao i jakost mišića nogu, u školske netrenirane populacije različite biološke dobi.

Danas se zna da su kod predadolescenata brzina, agilnost, mišićna jakost i mišićna snaga osobito osjetljive na podražaje (Lloyd i Oliver, 2012). Shodno tome, u kontekstu poboljšanja sportske izvedbe, pravovremeno implementiranje progresivnih pliometrijskih vježbi u razvojnim fazama kada pred-adolescenti posjeduju najvišu razinu osjetljivosti na živčane podražaje (Lloyd i sur., 2014) može biti od velike važnosti kako za sportske trenere tako i za kineziologe koji rade u školi. Ciklus istezanja i skraćivanja mišića kontroliran je od živčanog sustava (Komi, 2000), i istraživači su pokazali kako predpubertetsko razdoblje predstavlja idealan vremenski okvir u kojem mlade osobe doživljavaju proliferaciju u živčanoj koordinaciji i sazrijevanje centralnog živčanog sustava (Borms, 1986; Myer i sur., 2013; Sowell i sur. 2004), odnosno to razdoblje predstavlja idealnu dob za poboljšanje rezultata skakačkih (pliometrijskih) i sprinterskih izvedbi.

Adolescente, za razliku od djece i predadolescenata, obilježava izrazito razlikovanje u morfološkim, motoričkim i funkcionalnim značajkama kada se počinje dešavati niz bioloških promjena koje olakšavaju stvaranje mišićne sile, uz nastavak živčane prilagodbe kao posljedice sazrijevanja (Malina i sur., 2004), te je vjerojatnije kako će u ovom razvojnom razdoblju pojedinci više profitirati od treninga jakosti ili kombinacije pliometrijskog treninga i treninga jakosti (Lloyd i sur., 2016). Ove konstatacije, osim rezultata prethodno spomenutih meta analiza (Behringer i sur., 2010 i 2011; Lesinski i sur., 2016; Behm i sur., 2017; Peitz i sur., 2018), može potvrditi i

istraživanje Lloyda i sur. (2016), koje je prikazalo bolje rezultate (u smislu većeg napretka) u skakačkim i sprinterskim izvedbama kod biološki mlađih dječaka, uspoređujući ih s njihovim biološki starijim kolegama koji su najveću korist (u smislu najvećeg napretka) između tri različite vrste treninga s otporom (plimetrijski trening, tradicionalni trening jakosti i kombinirani trening) ostvarili uslijed intervencije kombiniranim treningom. Takve rezultate biološki mlađih dječaka Lloyd i sur. (2016) pripisuju višoj razini neuralne plastičnosti (Lloyd i sur., 2014) te većoj osjetljivosti i bržoj adaptaciji motoričke kontrole i koordinacije tijekom razdoblja djetinjstva (Sowell i sur., 2002 i 2004). Rezultate biološki starijih ispitanika pripisuju pak pojačanom hormonalnom utjecaju i većoj mišićnoj masi povezanoj s razdobljem adolescencije (Rumpf i sur., 2012). Meta analize koje su istraživale utjecaj treninga s otporom na mišićnu jakost (Behringer i sur., 2010), i sportsku izvedbu (Behringer i sur., 2011) mlađih osoba, također su pokazale da adolescenti veći napredak ostvaruju u mjerama mišićne jakosti, dok kod djece trening s otporom rezultira većim napretkom u sportskoj izvedbi.

Hipoteze ovog doktorskog rada temeljene su upravo na rezultatima iz istraživanja spomenutim u uvodu ovog poglavlja (Faigenbaum i sur., 2009; Lloyd i sur., 2014 i 2016; Behringer i sur., 2010 i 2011; Rumpf i sur., 2012; Lesinski i sur., 2016 i Behm i sur., 2017). Pretpostavljeno je kako će biološki mlađi dječaci ostvariti veći napredak u izvedbi skokova i sprinta po završetku intervencije skakačkim treningom od svojih biološki starijih kolega upravo radi visoke razine njihove živčane adaptacije koja će se idealno preklopiti s prirodnom adaptacijom na skakački trening. S druge strane, pretpostavljen je veći napredak biološki stariji dječaka u jakosti mišića opružaa potkoljenice, uspoređujući ih s njihovim biološki mlađim kolegama, radi očekivanih izraženijih morfoloških obilježja (poglavito veće mišićne mase) uslijed većeg stupnja biološke zrelosti.

Unatoč velikom broju istraživanja koja su potvrdila učinkovitost i sigurnost treninga s otporom i pliometrijskog treninga djece i adolescenata, veliki broj autora kvalitetu objavljenih radova smatra niskom jer nisu uključili podatke o biološkoj dobi ispitanika, nisu detaljno opisani korišteni trening deskriptori, nije izvješteno o zdravstvenom stanju ispitanika i nije navedeno njihovo trening iskustvo (Peitz i sur., 2018; Johnson i sur., 2011; Bedoya i sur., 2015; Lesinski i

sur., 2016 i Granacher i sur., 2016). Kao odgovor na nedostatke dosadašnjih istraživanja, ovaj doktorski rad konceptualno je uključio sve spomenuto.

Do sada je objavljen samo jedan pregledni rad i meta analiza koja je proučavala učinkovitost treninga s otporom i pliometrijskog treninga tijekom provođenja redovne nastave Tjelesne i zdravstvene kulture na razvoj mišićnog fitnesa kod adolescenata (Cox i sur., 2020). Autori spominju preporuke u kojima piše da bi adolescenti svakodnevno trebali biti angažirani u umjerenoj do intenzivnoj tjelesnoj aktivnosti minimalnog trajanja 60 minuta koja će uključivati i vježbe jakosti mišićnokoštanog sustava tri puta tjedno (World Health Organization, 2010; Physical Activity Guidelines for Americans, 2018; Health Council of the Netherlands, 2017), te navode kako je noviji pregledni rad Poitrasa i sur. (2016) potvrdio zdravstvene koristi povezane sa spomenutim preporukama. Unatoč dokazanoj učinkovitosti ovih preporuka, manje od 50 % mladih osoba iz Europe pridržava se istih (Health Behaviour in School-aged Children, 2014). Također, u opadanju je trend razvoja mišićnog fitnesa mladih osoba uslijed nedostatka aktivnosti koje podržavaju razvoj istog (Sandercock i Cohen, 2018; Tremblay i sur., 2010; Moliner-Urdiales i sur., 2010), što je vidljivo pri testiranju mišićne jakosti, mišićne snage i mišićne izdržljivosti koje se provodi u nastavi Tjelesne i zdravstvene kulture.

Unatoč sve većem broju radova koji potvrđuju koristi razvoja mišićnog fitnesa mladih osoba, i unatoč činjenici da je školsko okruženje učinkovito mjesto za promoviranje nastave Tjelesne i zdravstvene kulture kod adolescenata (Kriemler i sur., 2011), često je u planiranju i programiranju nastave Tjelesne i zdravstvene kulture taj razvoj zanemaren. S obzirom da su adolescenti najaktivniji tijekom boravka u školi, uspoređujući s njihovom aktivnošću u večernjim satima i vikendima (Fairclough i sur., 2012), i da im školsko okruženje omogućava tjelesnu aktivnost bez obzira na socio ekonomski status (Love i sur., 2019), nastava Tjelesne i zdravstvene kulture adolescentima predstavlja odličnu priliku za uključivanje u različite oblike tjelesne aktivnosti, koje možda ne bi bili u mogućnosti pronaći izvan škole. Za pretpostaviti je kako će adolescenti u nastavi Tjelesne i zdravstvene kulture rado prihvatiti trening s otporom jer će takvim načinom vježbanja izgraditi muskulaturu i izgledati atraktivno (Lubans i Cliff, 2011; Gray i Ginsberg, 2007).

Prilikom implementiranja treninga s otporom i pliometrijskog treninga u planove i programe nastave Tjelesne i zdravstvene kulture, potrebno je uvažavati činjenicu da razvoj mišićnog fitnesa donjih i gornjih ekstremiteta kod školske populacije nije homogen, odnosno može biti vrlo različit tijekom njihovog rasta i biološkog sazrijevanja (Wood i sur., 2006). Bez obzira što su trening s otporom i pliometrijski trening često vrlo malo zastupljeni u planovima i programima nastave Tjelesne i zdravstvene kulture, razumijevanje ovog fenomena izuzetno je važno učiteljima i nastavnicima u školi, osobito ako u takve načine vježbanja žele uključiti veliki broj svojih učenika (Cox i sur., 2020).

2. CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog rada je dvostruk: (1) usporediti utjecaj strukturiranog skakačkoga treninga u trajanju od osam tjedana s utjecajem redovnog programa Tjelesne i zdravstvene kulture na pokazatelje živčanomišićne izvedbe kod dječaka sedmih i osmih razreda osnovne škole različite biološke dobi; te (2) istražiti utjecaj biološke dobi na veličinu učinka strukturiranog skakačkoga treninga tijekom istog vremenskog razdoblja.

Na temelju dosadašnjih spoznaja i postavljenog cilja, formulirane su sljedeće istraživačke hipoteze:

- H1:** Skakački trening će poboljšati izvedbu skokova u većoj mjeri nego redovan program Tjelesne i zdravstvene kulture;
- H2:** Skakački trening će poboljšati izvedbu sprinta u većoj mjeri nego redovan program Tjelesne i zdravstvene kulture;
- H3:** Skakački trening će poboljšati jakost mišića opružača potkoljenice, u većoj mjeri nego redovan program Tjelesne i zdravstvene kulture;
- H4:** Skakački trening će poboljšati izvedbu skokova kod učenika obje eksperimentalne skupine, a ta poboljšanja će biti izraženija kod učenika mlađe biološke dobi;
- H5:** Skakački trening će poboljšati izvedbu sprinta kod obje eksperimentalne skupine, a ta poboljšanja će biti izraženija kod učenika mlađe biološke dobi;
- H6:** Skakački trening će poboljšati jakost mišića opružača potkoljenice, kod obje eksperimentalne skupine, a ta poboljšanja će biti izraženija kod učenika starije biološke dobi.

3. METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Ispitanici

Procjena veličine ukupnog uzorka napravljena je pomoću *G*Power* programa (inačica 3.1.9.2, Universitat Düsseldorf, Njemačka). Uz unesenu vrijednost statističke značajnosti od 0,05; vrijednost statističke snage od 0,90; veličinu učinka (f) od 0,25; broj grupa četiri (dvije eksperimentalne i dvije kontrolne); broj mjerenja dva (inicijalno i finalno) te približnu korelaciju između ponovljenih mjerenja od 0,5; minimalna potrebna veličina ukupnog uzorka bila je 64 ispitanika. S obzirom da se radi o školskoj populaciji koja zbog objektivnih razloga (bolest, školska natjecanja, obiteljske okolnosti i dr.) često zna izostajati s redovne nastave Tjelesne i zdravstvene kulture, osiguran je inicijalni uzorak od 126 muških ispitanika sedmih i osmih razreda iz dvije osnovne škole koji su dragovoljno pristali sudjelovati u istraživanju. Ispitanici su bili u kronološkoj dobi od 12 do 14 godina i odabrani su na osnovu pretpostavke da se vršna brzina prirasta tjelesne visine kod europske populacije javlja oko 14. kronološke godine (Malina i sur., 1996), odnosno da se početak vršne brzine prirasta tjelesne visine javlja otprilike godinu dana ranije (Tanner i sur., 1966). Drugim riječima, očekivalo se da će se u sedmim i osmim razredima identificirati podjednak broj ispitanika koji nisu i koji jesu dosegli vršnu brzinu prirasta tjelesne visine (tj. podjednak broj ispitanika s „< 0“ i „> 0“ vrijednostima dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine).

Uz pomoć izračuna vrijednosti vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine (vidi poglavlje 3.2.2. Procjena biološke dobi), ispitanicima se odredila biološka dob te su podijeljeni u dvije skupine: skupina biološki mlađih (dob pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine < 0) i skupina biološki starijih (dob pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine > 0) ispitanika. Potom su generatorom slučajnih brojeva i permutacijskom blok randomizacijom ispitanici podijeljeni u dvije eksperimentalne skupine s biološki mlađim i biološki starijim ispitanicima i dvije kontrolne skupine s biološki mlađim i biološki starijim ispitanicima (ukupno četiri skupine ispitanika u istraživanju). Ispitanici iz eksperimentalnih skupina sudjelovali su u skakačkom

trenažnom programu dva puta tjedno kroz osam tjedana, dok su ispitanici iz kontrolnih skupina nastavili pratiti redovan program Tjelesne i zdravstvene kulture kroz osam tjedana. Nitko od ispitanika nije imao iskustva s pliometrijskim treningom ili natjecateljskim sportom koji je uključivao bilo kakve vježbe mišićne jakosti i mišićne snage. Drugim riječima, u istraživanje su bili uključeni učenici koji nisu sudjelovali u organiziranom sportskom treningu. U istraživanju nisu mogli sudjelovati ispitanici s potencijalnim zdravstvenim problemima; ozljedama gležnja, koljenog zgloba ili ozljedama leđa koje su se dogodile tri mjeseca prije početka istraživanja; oni učenici koji su prijavili kronične bolesti i/ili bilo kakvo ortopedsko stanje koje bi im onemogućavalo izvođenje vježbi skokova. Zdravstveno stanje ispitanika pratilo se evidentiranjem neželjenih događaja poput bolnih stanja i ozljeda kao i njihovim ispunjavanjem upitnika procjene subjektivnog osjećaja opterećenja (eng. *Rating of Perceived Exertion*; Borg, 1997) po završetku svakog treninga.

Dozvolu za provedbu istraživanja unutar škola potpisali su ravnatelji. Roditelji ispitanika potpisali su pristanak za sudjelovanjem svoje djece u istraživačkom projektu, a Povjerenstvo za znanstveni rad i etiku Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu izdalo je odobrenje/potvrdu o etičnosti istraživanja (broj odobrenja 122/2016).

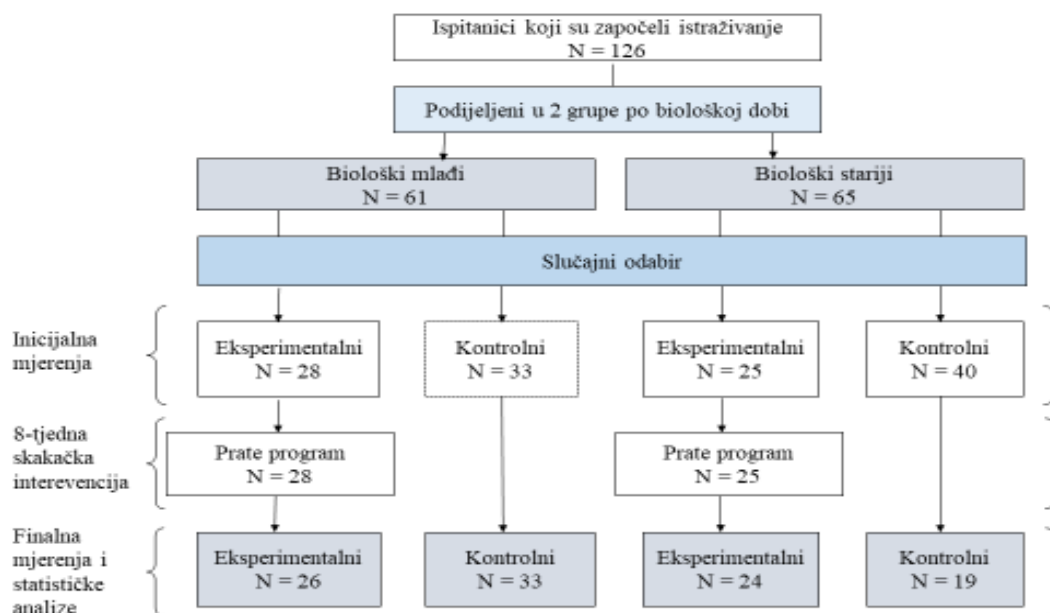
Istraživanje je bilo longitudinalno i obuhvatilo je dva vremenska razdoblja: rujan – studeni 2017. i rujan – studeni 2019. godine. Od ispitanika se zahtijevalo da između inicijalnog i finalnog testiranja završe ≥ 14 od ukupno 16 treninga unutar svojih skupina. Nakon što su podijeljeni u dvije skupine po biološkoj dobi i nakon što su obavljena inicijalna mjerenja, 6 ispitanika je odustalo od daljnjeg sudjelovanja u istraživačkom projektu zbog privatnih razloga. Po završetku finalnog testiranja, dodatnih 18 ispitanika koji su započeli s istraživačkim projektom bilo je izostavljeno iz završnih analiza zbog nekompletnih mjerenja (14 ispitanika) i/ili malog broja treninga (šest ispitanika) i/ili vrijednosti vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine jednakog 0,0 (četiri ispitanika). Serija nezavisnih t-testova ukazala je da nema značajnih razlika u kronološkoj i biološkoj dobi kao ni u osnovnim antropometrijskim karakteristikama između ispitanika iz prethodno navedenih razloga izostavljenih i ispitanika uključenih u završne analize (svi $p > 0,05$). Treba spomenuti i da je osipanje ispitanika bilo razmjerno neujednačeno kroz skupine: većina ispitanika koja je izostavljena iz završnih analiza bila je iz kontrolne skupine

biološki starijih učenika (21 ispitanik), dok su iz eksperimentalne skupine biološki mlađih učenika izostavljena dva ispitanika i eksperimentalne skupine biološki starijih učenika jedan ispitanik. U kontrolnoj skupini biološki mlađih ispitanika nije bilo izostavljenih - 33 ispitanika je započelo i uredno kompletiralo sudjelovanje u istraživanju. Zbog navedenog, ukupno 102 ispitanika je sa svojim rezultatima ušlo u završne statističke analize. Njihove su karakteristike prezentirane u Tablici 3., a na Slici 1. grafički je prikazano brojčano kretanje ispitanika kroz različite faze istraživanja.

Tablica 3. Deskriptivna statistika za dob, tjelesnu visinu, tjelesnu masu i vrijednost vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine za eksperimentalne (EKS) i kontrolne (KON) skupine. Podaci su prikazani kao aritmetička sredina $\pm$ standardna devijacija osim za podatke o vrijednostima vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine koji su prikazani kao medijan (kvartilni raspon).

Biološka dob	Skupina	Broj ispitanika	Dob (godine)	Tjelesna visina (cm)	Tjelesna masa (kg)	Vrijednost vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine (godine)
Biološki mlađi	EKS	26	13,1 $\pm$ 0,6	159,8 $\pm$ 6,3	49,4 $\pm$ 8,7	-1,0 (0,8)
	KON	33	13,2 $\pm$ 0,5	163,0 $\pm$ 7,2	54,1 $\pm$ 10,7	-0,5 (0,7)
Biološki stariji	EKS	24	14,0 $\pm$ 0,4	176,3 $\pm$ 6,8	68,5 $\pm$ 10,2	0,7 (0,7)
	KON	19	13,9 $\pm$ 0,5	174,7 $\pm$ 7,0	65,3 $\pm$ 11,7	0,6 (0,5)

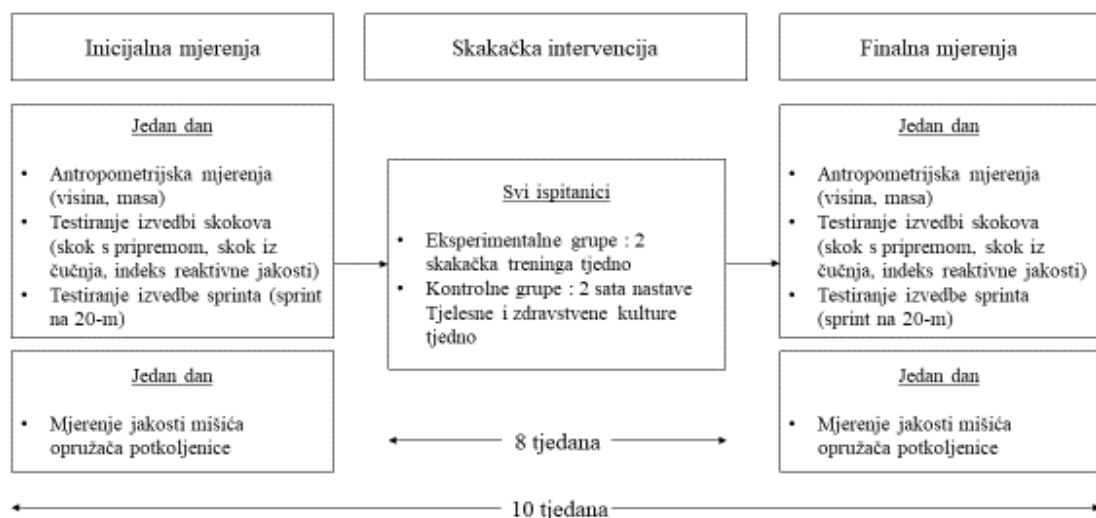
Nije bilo statistički značajne razlike između EKS i KON skupina kod biološki mlađih i biološki starijih ispitanika (svi $p = 0,081 - 0,451$). Biološki stariji ispitanici iz EKS skupine bili su kronološki stariji, viši i imali su veću tjelesnu masu uspoređujući ih s njihovim biološki mlađim kolegama iz EKS skupine (svi $p < 0,001$), i biološki stariji ispitanici iz KON skupine bili su kronološki stariji, viši i imali su veću tjelesnu masu uspoređujući ih s njihovim biološki mlađim kolegama iz KON skupine (svi $p < 0,001 - 0,001$).



Slika 1. Prikaz brojčanog kretanja ispitanika kroz različite faze istraživanja

3.2. Uzorak varijabli, protokol testiranja, trenažna intervencija

Prije početka intervencijskog razdoblja, svi su ispitanici bili upoznati s protokolom testiranja koji ih očekuje pri inicijalnom i finalnom mjerenju. Dozvoljen im je neograničen broj izvođenja testnih zadataka kako bi ih mogli kvalitetno demonstrirati na zahtjev provoditelja testiranja. Za potrebe testiranja, ispitanici su napravili 15-minutnu dinamičnu pripremu tijela koja je uključivala pet minuta laganog trčanja s promjenom pravca kretanja i deset minuta laganih vježbi dinamične mobilizacije i aktivacije s naglaskom na velike mišiće grupe donjih ekstremiteta. Nakon što su napravili adekvatnu pripremu tijela i ponovili testne zadatke, ispitanici su pristupili testiranju u sljedećem rasporedu: antropometrijska mjerenja, test skok s pripremom, test skok iz čučnja, test pet maksimalnih objenožnih skokova za procjenu indeksa reaktivne jakosti i test sprint na 20 metara. Tijek ovih radnji prikazan je na Slici 2.



Slika 2. Prikaz tijeka istraživanja kroz faze

Sve testove, izuzev mjerenja jakosti mišića opružaca potkoljenice koje je izmjereno od strane osobe obučene za rad na izokinetičkom uređaju, provodile su iste osobe, odnosno kineziolozi s višegodišnjim iskustvom rada u osnovnoj školi koji, zbog cjelokupne organizacije eksperimenta, nisu bili agnostični za pripadnost ispitanika pojedinim skupinama u istraživanju. Jakost mišića opružaca potkoljenice testirana je dva dana nakon ostalih mjerenja u obližnjoj Specijalnoj bolnici za medicinsku rehabilitaciju bolesti srca, pluća i reumatizma „Thalassotherapia Opatija”. Svaki test (osim antropometrijskih mjerenja i mjerenja jakosti mišića opružaca potkoljenice) ispitanici su izvodili tri puta, a za daljnju analizu uzet je najbolji rezultat iz tri mjerenja. Kod izvedbe skokova ispitanicima je dan period od 30 sekundi odmora između ponavljanja (Arazi i sur., 2012) kako bi se ograničili učinci umora uslijed uzastopnih ponavljanja. Period odmora između izvođenju tri sprinta na 20 metara iznosio je tri minute. Dok su čekali na red za mjerenje, od ispitanika se zahtijevalo da izvode vježbe niskog intenziteta kako bi zadržali fiziološku spremnost za izvođenje sljedećeg testnog zadatka.

3.2.1. Antropometrijska mjerenja

Stojeća visina tijela (cm) i sjedeća visina (cm) izmjerene su uz pomoć prenosivog visinomjera (Seca 213; seca gmbh, Hamburg, Njemačka). Mjerenje visine tijela iz uspravnog - stojećeg položaja vršilo se od platoa na visinomjeru do točke verteksa na glavi, odnosno najviše točke lubanje kada je glava u položaju „Frankfurtske horizontale” koju definira ravnina određena točkama na gornjem rubu vanjskog slušnog hodnika i na donjem rubu očne šupljine. Od ispitanika se zahtijevalo da bosih nogu stane na plato visinomjera na način da su mu leđa, glutealni mišići i pete prislonjeni na visinomjer, te da iz spetnog stava ravnomjerno rasporedi masu tijela na oba stopala. Mjeritelj bi potom zatražio od ispitanika da učini inspirij, postavio bi ruke obostrano uzduž ispitanikove mandibule sve do mastoidnog nastavka na sljepoočnoj kosti, te nježno podigao glavu prema gore i naprijed, kako bi ispitanikova glava bila u položaju „Frankfurtske horizontale”. U isto vrijeme mjeritelj bi spustio vrh visinomjera na verteks te očitao rezultat. Potom bi zatražio od ispitanika da siđe s platoa visinomjera, te da na isti način ponovi protokol. Ako bi se rezultati prvog i drugog mjerenja razlikovali više od 0,4 cm, učinilo bi se i treće mjerenje. Kod dva mjerenja bilježio bi se prosječan rezultat oba mjerenja, a kod tri mjerenja ubilježio bi se medijan, odnosno središnja vrijednost mjerenja. U ovom istraživanju kod svih ispitanika bilježio se prosječan rezultat prvog i drugog mjerenja stajace visine tijela jer potrebe za trećim mjerenjem nije bilo. Sjedeća visina predstavlja maksimalnu razdaljinu od verteksa do baze na kojoj ispitanik sjedi i izmjerena je na način da se od ispitanika tražilo da sjedne na postolje (kojem je unaprijed bila poznata visina) s rukama položenim na natkoljenice, te da leđa nasloni na visinomjer. Mjeritelj bi potom zatražio od ispitanika da učini inspirij, postavio bi ruke obostrano uzduž ispitanikove mandibule sve do mastoidnog nastavka na sljepoočnoj kosti, te nježno podigao glavu prema gore i naprijed, kako bi ispitanikova glava bila u položaju „Frankfurtske horizontale”. U isto vrijeme mjeritelj bi spustio vrh visinomjera na verteks, zatražio od ispitanika da ne vrši kontrakciju glutealnih mišića i da se ne odupire stopalima o pod, te očitao rezultat. Nakon toga zatražio bi od ispitanika da ustane s postolja za mjerenje te da na isti način ponovi protokol. Ako bi se rezultati prvog i drugog mjerenja razlikovali više od 0,4 cm, učinilo bi se i treće mjerenje. Kod dva mjerenja bilježio bi se prosječan rezultat oba mjerenja, a kod tri mjerenja ubilježio bi se medijan, odnosno središnja vrijednost mjerenja. U ovom istraživanju kod svih ispitanika bilježio se prosječan rezultat prvog i drugog

mjerenja sjedeće visine jer potrebe za trećim mjerenjem nije bilo. Duljina noge (cm) izračunala se je na način da se od rezultata stojeće visine (cm) oduzeo rezultat sjedeće visine (cm).

Tjelesna masa (kg) izmjerena je pomoću prenosive digitalne vage (Seca V/700; seca gmbh, Hamburg, Njemačka). Prilikom mjerenja tjelesne mase od ispitanika se zahtijevalo da na sebi ima minimalnu količinu odjeće, te da vaganju pristupi bez obuće. Nakon što je mjeritelj provjerio početno stanje vage (očitanje od 0,0 kilograma na mjernoj skali), od ispitanika bi zatražio da bez pridržavanja i s ravnomjerno raspoređenom masom tijela na oba stopala, stane na sredinu vage. Mjeritelj bi očitao masu tijela ispitanika, ubilježio rezultat te zatražio od ispitanika da siđe s vage. Potom je zatražio od ispitanika da na isti način ponovi protokol. Ukoliko bi se rezultati prvog i drugog mjerenja razlikovali više od 0,4 kg, učinilo bi se i treće mjerenje. Kod dva mjerenja bilježio bi se prosječan rezultat oba mjerenja, a kod tri mjerenja ubilježio bi se medijan, odnosno središnja vrijednost mjerenja. U ovom istraživanju kod svih ispitanika bilježio se prosječan rezultat prvog i drugog mjerenja tjelesne mase jer potrebe za trećim mjerenjem nije bilo.

3.2.2. Procjena biološke dobi

U svrhu procjene biološke dobi ispitanika koristile su sljedeće varijable: tjelesna visina iz uspravnog - stojećeg položaja (cm); sjedeća visina (cm), tjelesna masa (kg) i duljina noge (cm) te se je izračunala ispitanikova kronološka dob.

Kronološka dob ispitanika (godine) izračunala se oduzimanjem nadnevka rođenja od nadnevka mjerenja, kojom prilikom su se koristili podaci iz Tablice 4. Na primjer, ako je ispitanik rođen 17.1.2006. godine, godini rođenja se pridoda broj očitao iz Tablice 4. koji predstavlja dan i mjesec rođenja (044) te se dobije broj 2006,044. Ako je mjerenje učinjeno 15.9.2019. godine, godini u kojoj je izvršeno mjerenje pridoda se broj očitao iz Tablice 4. koji predstavlja dan i mjesec mjerenja (688) te se dobije broj 2019,688. Potom se od broja dobivenog temeljem nadnevka mjerenja (2019,688) oduzme broj dobiven temeljem nadnevka rođenja (2006,044). Decimalna dob za ispitanika iz primjera iznosila bi $2019,688 - 2006,044 = 13,644$.

Dobiveni podaci uneseni su u specifičnu regresijsku jednadžbu za dječake koja glasi (Mirwald i sur., 2002):

Vrijednost vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine = $-9,236 + (0,0002708 \cdot \text{duljina noge} \cdot \text{sjedeća visina}) + (-0,001663 \cdot \text{decimalna dob} \cdot \text{duljina noge}) + (0,007216 \cdot \text{decimalna dob} \cdot \text{sjedeća visina}) + (0,02292 \cdot \text{omjer tjelesne mase i tjelesne visine})$

Primjer izračuna je slijedeći: ispitanik ima decimalnu dob 13,644 godina; tjelesnu visinu 157,0 cm; tjelesnu masu 53,0 kg; duljinu noge 77,4 cm i sjedeću visinu 79,6 cm. Umnožak duljine noge i sjedeće visine iznosio bi 6161,04 ($77,4 \cdot 79,6$). Umnožak kronološke dobi i duljine noge iznosio bi 1056,0456 ($13,644 \cdot 77,4$). Umnožak kronološke dobi i sjedeće visine iznosio bi 1086,0624 ($13,644 \cdot 79,6$). Omjer tjelesne mase i tjelesne visine iznosio bi 33,75796 ($(53,0 / 157,0) \cdot 100$). Vrijednost vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine = $-9,236 + (0,0002708 \cdot 77,4 \cdot 79,6) + (-0,001663 \cdot 13,644 \cdot 77,4) + (0,007216 \cdot 13,644 \cdot 79,6) + (0,02292 \cdot 33,75796) = -9,236 + 1,6684 - 1,7562 + 7,8370 + 0,7737 = -0,713$ godina. Izračunom vrijednosti vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine od -0,713 godina, može se procijeniti da će ispitanik iz primjera najviši prirast u visinu imati sa 14,357 godina ($13,644 + 0,713$).

Tablica 4. Tablica za računanje decimalnih razlomaka u kalendarskoj godini (modificirano prema McVarishu, 1962).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	SJEČANJ	VELJAČA	OŽUJAK	TRAVANJ	SVIBANJ	LIPANJ	SRPANJ	KOLOVOZ	RUJAN	LISTOPAD	STUDENI	PROSINAC
1	000	085	162	247	329	414	496	581	666	748	833	915
2	003	088	164	249	332	416	499	584	668	751	836	918
3	005	090	167	252	334	419	501	586	671	753	838	921
4	008	093	170	255	337	422	504	589	674	756	841	923
5	011	096	173	258	340	425	507	592	677	759	844	926
6	014	099	175	260	342	427	510	595	679	762	847	929
7	016	101	178	263	345	430	512	597	682	764	849	932
8	019	104	181	266	348	433	515	600	685	767	852	934
9	022	107	184	268	351	436	518	603	688	770	855	937
10	025	110	186	271	353	438	521	605	690	773	858	940
11	027	112	189	274	356	441	523	608	693	775	860	942
12	030	115	192	277	359	444	526	611	696	778	863	945
13	033	118	195	279	362	447	529	614	699	781	866	948
14	036	121	197	282	364	449	532	616	701	784	868	951
15	038	123	200	285	367	452	534	619	704	786	871	953
16	041	126	203	288	370	455	537	622	707	789	874	956
17	044	129	205	290	373	458	540	625	710	792	877	959
18	047	132	208	293	375	460	542	627	712	795	879	962
19	049	134	211	296	378	463	545	630	715	797	882	964
20	052	137	214	299	381	466	548	633	718	800	885	967
21	055	140	216	301	384	468	551	636	721	803	888	970
22	058	142	219	304	386	471	553	638	723	805	890	973
23	060	145	222	307	389	474	556	641	726	808	893	975
24	063	148	225	310	392	477	559	644	729	811	896	978
25	066	151	227	312	395	479	562	647	731	814	899	981
26	068	153	230	315	397	482	564	649	734	816	901	984
27	071	156	233	318	400	485	567	652	737	819	904	986
28	074	159	236	321	403	488	570	655	740	822	907	989
29	077		238	323	405	490	573	658	742	825	910	992
30	079		241	326	408	493	575	660	745	827	912	995
31	082		244		411		578	663		830		997

3.2.3. Testiranje izvedbe skokova

Maksimalna visina skoka, izražena u cm, u Skoku s pripremom (eng. *Countermovement Jump*) i Skoku iz čučnja (eng. *Squat Jump*) te Indeks reaktivne jakosti (eng. *Reactive Strength Index*) definiran kao omjer visine pet brzih skokova i trajanja kontakata s podlogom tijekom odraza, izražen u mm/ms, izračunati su iz podataka odrazne, vertikalne brzine centra mase tijela uz pomoć pokrene platforme za mjerenje sile reakcije podloge (Kistler MARS Model 2875A, Winterthur, Švicarska) i softvera za mjerenje, analizu i izvještavanje (MARS 4.0, Kistler, Winterthur, Switzerland).

Skok s pripremom se izvodio iz početnog uspravnog položaja tijela s rukama podbočenim o kukove. Na mjeriteljev znak ispitanik bi učinio brzu pripremu, odnosno spustio bi se u položaj definiran polučučnjem (koljena u položaju $\sim 90^\circ$, trup i kukovi u položaju fleksije), iz kojeg bi izvršio brzi i eksplozivni vertikalni skok u nakani da skoči najviše što može u najkraćem mogućem vremenu (Lloyd i sur., 2009). Tijekom skoka ispitanik bi držao ruke podbočene o kukove, kako bi eliminirao utjecaj zamaha ruku, a u fazi leta morao je imati potpuno ispružene donje ekstremitete.

Skok iz čučnja se izvodio iz početnog položaja definiranog polu čučnjem (koljena u položaju $\sim 90^\circ$, trup i kukovi u položaju fleksije), u kojem se od ispitanika zahtijevalo da prethodno opisani položaj tijela zadrži otprilike dvije sekunde prije nego što na mjeriteljev znak izvrši brzi i eksplozivni vertikalni skok u nakani da skoči najviše što može u najkraćem mogućem vremenu (Lloyd i sur., 2009). Tijekom skoka ispitanik bi držao ruke podbočene o kukove, kako bi eliminirao utjecaj zamaha ruku, a u fazi leta morao bi imati potpuno ispružene donje ekstremitete.

Indeks reaktivne jakosti procijenjen je tijekom izvođenja testa pet maksimalnih objenožnih skokova, u kojem se od ispitanika zahtijevalo da učini pet uzastopnih maksimalnih vertikalnih skokova na pokretnoj platformi za mjerenje sile reakcije podloge. Ispitaniku je rečeno da učini maksimalni skok i minimizira vrijeme kontakta s podlogom (Dalleau i sur., 2004). Prvi od ukupno pet skokova predstavljao bi skok s pripremom i bio je izbačen iz analize, a prosječna vrijednost preostala četiri skoka uzeta je za izračun indeksa reaktivne jakosti (Lloyd i sur., 2009).

3.2.4. Testiranje izvedbe sprinta

Vrijeme sprinta na 20 m (s) mjereno je uz pomoć bežičnog sistema za mjerenje brzine (Witty; Microgate, Mahopac, NY, USA) na travnatoj podlozi vanjskog nogometnog igrališta. Dva para foto-stanica postavljena su na 20 m, odnosno 40 m od linije starta, a podaci o vremenu su konstantno bilježeni na dlanovniku istog proizvođača. Ispitanici su kretali iz pozicije visokog starta na znak mjeritelja „3-2-1 kreni”, te su imali 20 m za akceleraciju do prvog para foto-stanica, te 20 m za deceleraciju nakon drugog para foto-stanica. Ispitanici su instruirani da postupno ubrzavaju, kako bi punom brzinom prošli između prvog para foto-stanica, te im je naglašeno da počnu usporavati tek kada prođu između drugog para foto-stanica (koji je udaljen 20 m od prvog para foto-stanica). Vrijeme se mjerilo automatski na način da je sistem krenuo s mjerenjem kada je ispitanik prošao između prvog para foto-stanica i zaustavio mjerenje kada je ispitanik prošao između drugog para foto-stanica.

3.2.5. Testiranje jakosti mišića opružaća potkoljenice

Procjena maksimalne voljne koncentrične jakosti mišića opružaća potkoljenice dominantne noge (ona noga s kojom učenik udara loptu kad želi biti što precizniji), izražena kao vršni moment sile u Nm, izmjerena je na izokinetičkom dinamometru (Humac Norm 2009; Boston, Massachusetts, SAD). Prije testiranja, ispitanici su odradili 10-minutnu pripremu tijela koja je uključivala trčanja, te laganu dinamičku mobilizaciju i aktivaciju velikih mišićnih grupacija donjih ekstremiteta. Potom su ispitanici pojedinačno postavljeni u sjedeći položaj na mjernom uređaju, te su im stabilizacijske trake postavljene oko struka, bedra i goljenične kosti. Lateralni epikondil femura dominantne noge postavljen je u ravninu s rotacijskom osi dinamometra. Opseg kretanja zgloba koljena individualno je podešavan za svakog ispitanika. Učenici su najprije učinili 10 ponavljanja kako bi dobili osjećaj brzine kretanja poluge. Potom, nakon jednogminutne pauze, učinili su pet maksimalnih ekstenzija i fleksija potkoljenice uz verbalnu podršku i brojenje ponavljanja provoditelja testiranja. Za izvođenje zadatka ispitanici su dobili uputu da što jače i što brže učine pet maksimalnih ekstenzija i fleksija u koljenom zglobu. Tijekom zadanog obrasca

pokreta dinamometar je automatski bilježio vršni moment sile izražen u Nm. Testiranje je učinjeno pri kutnoj brzini od 60°/s jer se u prethodnim istraživanjima u kojima su ispitanici bili mlađe dobi testiranje pri toj kutnoj brzini pokazalo visoko pouzdanim (Chaouachi i sur., 2011).

3.2.6. Trenažna intervencija

Eksperimentalne skupine su tijekom nastave Tjelesne i zdravstvene kulture provodile skakačku trenažnu intervenciju, dok su kontrolne skupine u isto vrijeme provodile redovan program Tjelesne i zdravstvene kulture. Treninzi su se održavali dva puta tjedno s razmakom između treninga od 48 sati kako bi se ispitanicima omogućio adekvatan odmor. Skakački trening su činile vježbe bilateralnih i unilateralnih (lijevo/desno) skokova, poskoka, naskoka i saskoka, u sagitalnoj, frontalnoj i transversalnoj ravnini, a trenažni program je sadržavao ukupno 20 različitih vježbi. U svaki su trening bile uključene četiri različite vježbe i dvije do četiri serije s pet do 12 ponavljanja, a volumen vježbanja bio je određen ukupnim brojem kontakata stopala s podlogom, odnosno umnoškom broja serija i broja ponavljanja (Tablica 5.).

Pojam „skakački trening“, a ne „pliometrijski trening“, se koristi u ovom doktorskom radu za opis trenažne intervencije budući da neke od skokova koji su se koristili u intervenciji ne karakterizira ciklus istezanja i skraćivanja mišića te se prema tome ne mogu smatrati pliometrijskim motoričkim zadacima odnosno pliometrijskim vježbama.

Periodizacija treninga učinjena je na način da se je osmotjedni skakački program podijelio u dva progresivna mezociklusa u trajanju od tri tjedna i jedan završni progresivni mezociklus u trajanju od dva tjedna. Progresivnost skakačkih treninga odredila se je i tehnikom izvedbe skokova (u prva dva tjedna izvodili su se samo bilateralni skokovi, ostalih šest tjedana bilateralni i unilateralni skokovi), te visinom klupica za naskok i saskok (u prva četiri tjedna naskoci i saskoci su se izvodili na klupice visine 35 cm, u zadnja četiri tjedna na klupice visine 42 cm). Odnos između relativnog i apsolutnog volumena trenažnog opterećenja odredio se postotkom zastupljenosti vrste skokova prema vrsti mišićne akcije (ekscentrični, koncentrični, spori pliometrijski, brzi

pliometrijski), što je prikazano u Tablici 6. Trening je uvijek započinjao pripremom tijela u trajanju od 15 minuta po modificiranom tzv. *RAMP* protokolu (Jeffreys, 2007; Faigenbaum i McFarland, 2007), koji podrazumijeva sljedeće:

1. „Podizanje” (eng. *raise*) razine tjelesne temperature, srčane frekvencije, frekvencije disanja, protoka krvi i viskoznosti zglobova. Uključuje zadatke: škole trčanja; promjene smjera kretanja; čučnjeve, iskorake i puzanja;
2. „Aktivaciju” i „mobilizaciju” (eng. *activation*; *mobilisation*) velikih mišićnih grupa s naglaskom na one mišiće koji će biti pod najvećim opterećenjem tijekom izvođenja vježbi iz trenažnog programa i ključnih zglobova u kontekstu povećanja njihovog opsega pokreta. Uključuje zadatke: ravnotežnih položaja; za poboljšanje jakosti leđnih i trbušnih mišića, te mišića ramenog pojasa; različitih vrsti čučnjeva i iskoraka za poboljšanje jakosti donjih ekstremiteta; za poboljšanje spinalne mobilnosti;
3. „Potencijaciju” (eng. *potentiation*) pri kojoj je intenzitet izvođenja zadatka sličan onome koji slijedi u trenažnom programu. Uključuje: pliometrijske zadatke poput unilateralnih i bilateralnih skokova; zadatke kratkih akceleracija i sprintova poput sprinta iz pozicije visokog starta i padajućeg starta; zadatke reaktivne agilnosti poput igre „lovica”. Ovaj protokol bio je prilagođen dobi i stanju treniranosti ispitanika, a važno je naglasiti kako ovakva priprema tijela za trening povećava razinu kvalitete izvedbe skokova i ima preventivnu ulogu kod ozljeđivanja.

Svaki trening je trajao najviše 40 minuta, a propisani period odmora između serija vježbi iznosio je jednu do dvije minute, što je omogućilo dovoljnu resintezu fosfagena (Plisk, 1991) i bilo u skladu s preporukama provođenja treninga s otporom i pliometrijskog treninga s mladim osobama (Lloyd i sur., 2014). Sve treninge su provodili profesori kineziologije u sportskim dvoranama na podlogama od parketa, pri čemu je omjer kontrolor-vježbač bio 1:8. S obzirom da velika većina ispitanika nije imala iskustva s izvođenjem skakačkih vježbi, posebna pažnja posvećena je demonstraciji i tehnici izvođenja, pri čemu se naglasak stavio na sljedeće: kvalitetna postura

(ispružena kralježnica s ramenima postavljenim unatrag) i poravnanje tijela (položaj pri kojem su prsa preko koljena) tijekom izvođenja skokova; izvođenje vertikalnog skoka ravno prema gore, bez prekomjernih otklona tijela u frontalnoj ravnini (naprijed-natrag) ili sagitalnoj ravnini (lijevo-desno); mekani doskok od prstiju prema peti sa savijenim koljenima; konstantna priprema tijela za izvođenje sljedećeg skoka, što podrazumijeva brzi odskok i tehnički ispravno izvođenje sljedećeg skoka. Kontrolori su bili spremni u slučaju da učenik ne bi bio u stanju provoditi predviđeni program intenzitet vježbanja smanjiti na individualnoj razini, odnosno ne bi inzistirali na predviđenom intenzitetu nauštrb pravilne tehnike izvođenja vježbe, premda do takve situacije tijekom provođenja skakačkoga programa nije došlo.

Redovan program Tjelesne i zdravstvene kulture kojeg su provodile kontrolne skupine bio je temeljen na Nacionalnom kurikulumu istog, a obuhvaćao je sljedeće nastavne teme:

- 7. razredi: „Bacanje loptice do 200 g tehnikom bacanja koplja” - atletika; „Tehnika ramenskog bacanja kroz klek” - borilački sportovi; „Šut s pozicije krila i kružnog napadača” - rukomet, „Dvokorak” - košarka, „Dizanje lopte visoko na krajeve mreže” - odbojka i „Zaustavljanje lopte natkoljenicom principom amortizacije” - nogomet;
- 8. razredi: „Bacanje loptice tehnikom O’Brien” - atletika, „Tehnika bočnog bacanja hvatom glave i ruke kroz klek” - borilački sportovi, „Finte” - rukomet, „Igra 3 na 3” - košarka, „Gornji servis bez rotacije” - odbojka i „Udarac glavom iz kretanja sa skokom” - nogomet.

Tablica 5. Pregled vježbi skakačke trenažne intervencije.

Tjedan	Naziv vježbe	Vrsta skoka prema vrsti mišićne akcije	Broj serija	Broj ponavljanja	Broj kontakata stopala s podlogom
I	Skok s klupice u doskok na obje noge	Eks.	2	10	74
	Skok iz čučnja	Kon.	3	6	
	Skok iz sjedećeg položaja	Kon.	4	6	
	Bočni objenožni skok u bočni doskok	Spori plio.	2	6	
II	Skok u prednožni doskok	Eks.	2	9	78
	Skok iz sjedećeg položaja	Kon.	4	7	
	Skok s pripremom	Spori plio.	2	6	
	Skokovi u raskorak	Brzi plio.	2	10	
III	Skok u prednožni doskok na jednu nogu	Eks.	3	8	81
	Skok iz čučnja	Kon.	3	8	
	Objenožni skok udalj iz mjesta	Spori plio.	3	5	
	Visoki objenožni vertikalni skokovi	Brzi plio.	3	6	
IV	Skok s noge u prednožni doskok na jednu nogu	Eks.	3	6	79
	Skok iz sjedećeg položaja	Kon.	3	7	
	Skok s pripremom na klupicu	Spori plio.	4	5	
	Skokovi u križ	Brzi plio.	2	10	
V	Skok s klupice u doskok na jednu nogu	Eks.	2	6	84
	Jednonožni vertikalni skok	Kon.	2	7	
	Skok s pripremom	Spori plio.	4	7	
	Balerina skokovi	Brzi plio.	3	10	
VI	Skok u prednožni doskok na jednu nogu	Eks.	2	5	90
	Skok iz čučnja	Kon.	2	5	
	Objenožni skok s okretom za 180°	Brzi plio.	3	10	
	Škarice skokovi	Brzi plio.	4	10	
VII	Skok s noge u prednožni doskok na jednu nogu	Eks.	2	6	88
	Skok iz sjedećeg položaja	Kon.	2	6	
	Skok s pripremom	Spori plio.	3	8	
	Visoki objenožni vertikalni skokovi	Brzi plio.	4	10	
VIII	Skok s klupice u doskok na jednu nogu	Eks.	2	6	94
	Skok iz čučnja na klupicu	Kon.	2	6	
	Skok s pripremom na klupicu	Spori plio.	3	8	
	Balerina skokovi	Brzi plio.	4	12	

Eks. - ekscentrični = vrsta mišićne akcije prilikom koje mišić proizvodi aktivnu napetost te se izdužuje, jer je sila mišića manja od sile otpora; **Kon. - koncentrični** = vrsta mišićne akcije prilikom koje mišić proizvodi aktivnu napetost te se skraćuje, jer je sila mišića veća od sile otpora; **Spori plio. - spori pliometrijski** = vrsta mišićne akcije koju karakterizira brzi prijelaz između početnog izduženja mišića (tj., ekscentrične mišićne akcije) i posljedičnog skraćivanja mišića (tj., koncentrične mišićne akcije) u trajanju ≥ 251 ms; **Brzi plio. - brzi pliometrijski** = vrsta mišićne akcije koju karakterizira brzi prijelaz između početnog izduženja mišića (tj., ekscentrične mišićne akcije) i posljedičnog skraćivanja mišića (tj., koncentrične mišićne akcije) u trajanju ≤ 250 ms.

Tablica 6. Odnos između relativnog i apsolutnog trenažnog volumena opterećenja (%).

Tjedan	Mezociklus	Nisko / Visoko	Vrsta skoka prema vrsti mišićne akcije			
			Ekscentrični	Koncentrični	Spori pliometrijski	Brzi pliometrijski
I	1	80 / 20	20	60	20	0
II		70 / 30	30	40	20	10
III		60 / 40	30	30	20	20
IV	2	50 / 50	25	25	25	25
V		40 / 60	20	20	30	30
VI		30 / 70	15	15	30	40
VII	3	20 / 80	10	10	30	50
VIII		10 / 90	5	5	30	60

Ekscentrični – vrsta mišićne akcije prilikom koje mišić proizvodi aktivnu napetost te se izdužuje, jer je sila mišića manja od sile otpora; **koncentrični** – vrsta mišićne akcije prilikom koje mišić proizvodi aktivnu napetost te se skraćuje, jer je sila mišića veća od sile otpora; **spori pliometrijski** – vrsta mišićne akcije koju karakterizira brzi prijelaz između početnog izduženja mišića (tj., ekscentrične mišićne akcije) i posljedičnog skraćivanja mišića (tj., koncentrične mišićne akcije) u trajanju ≥ 251 ms; **brzi pliometrijski** - vrsta mišićne akcije koju karakterizira brzi prijelaz između početnog izduženja mišića (tj., ekscentrične mišićne akcije) i posljedičnog skraćivanja mišića (tj., koncentrične mišićne akcije) u trajanju ≤ 250 ms.

3.3. Statističke analize

Deskriptivna statistika izračunata je za sve izvedbene varijable u inicijalnom i finalnom mjerenju (vrijeme sprinta na 20 m, visina skoka s pripremom, visina skoka iz čučnja, indeks reaktivne jakosti, vršni moment sile mišića opružача potkoljenice na izokinetičkom uređaju). Razlike u svim varijablama analizirane su serijom odvojenih $2 \times 2 \times 2$ (dvije vremenske točke mjerenja $\times$ dvije skupine po trenažnoj intervenciji $\times$ dvije skupine po biološkoj dobi) univarijatnih analiza varijance (ANOVA) za ponovljena mjerenja. Dvije vremenske točke odnose se na inicijalno i finalno mjerenje, dvije skupine programa odnose se na eksperimentalne i kontrolne skupine i dvije skupine po biološkoj dobi odnose se na biološki mlađe (nisu još dosegli vršnu brzinu prirasta tjelesne visine) i biološki starije (prošli su vršnu brzinu prirasta tjelesne visine) ispitanike.

Veličina efekta po Cohen-u (eng. *Cohen's d statistic*; Cohen, 1977) izračunata je za sve izvedbene varijable u svim grupama. U tom smislu, razlike u rezultatima između inicijalnog i finalnog mjerenja su se interpretirale kao trivijalne (0,00 - 0,19), male (0,20 - 0,49), umjerene (0,50 - 0,79) i velike ($> 0,79$). Statistička značajnost razlika u rezultatima između inicijalnih i finalnih mjerenja za svaku promatranu varijablu i za svaku skupinu ispitanika testirane su serijom zavisnih t-testova. Izračunate su i razlike između eksperimentalnih skupina u veličini promjene rezultata (u apsolutnim jedinicama) za sve promatrane varijable uz prikaz 95% intervala pouzdanosti (95% CI). Deskriptivna statistika, t-testovi i analiza varijance za ponovljena mjerenja (ANOVA) izračunate su uz pomoć Statistica programskog paketa (verzija 13.4.0.14; TIBCO Software Inc., Palo Alto, Ca, USA), a razina statističke pogreške za sve metode obrade podataka postavljena je na razinu od $p < 0,05$.

4. REZULTATI

Tablica 7. prikazuje razlike u rezultatima za izvedbu sprinta, skoka s pripremom, skoka iz čučnja, za indeks reaktivne jakosti i za jakost mišića opružaća potkoljenice, analiziranih uz pomoć $2 \times 2 \times 2$ (vrijeme $\times$ trenažna intervencija $\times$ biološka dob) univarijatne analize varijance (ANOVA) za ponovljena mjerenja. P–vrijednosti su prikazane za glavne učinke kao i za interakcijske učinke između dva i tri faktora.

Tablica 7. Razlike u rezultatima živčanomišićne izvedbe ispitanika, analiziranih uz pomoć $2 \times 2 \times 2$ (vrijeme $\times$ trenažna intervencija $\times$ biološka dob) univarijatne analize varijance (ANOVA) za ponovljena mjerenja. P–vrijednosti su prikazane za glavne učinke kao i za interakcijske učinke između dva i tri faktora.

Faktor / Interakcijski učinak	T e s t				
	Sprint 20 m (s)	Skok s pripremom (cm)	Skok iz čučnja (cm)	Indeks reaktivne jakosti (mm/ms)	Izokinetička jakost mišića opružaća potkoljenice (Nm)
Vrijeme	$p < 0,001$	$p = 0,009$	$p = 0,001$	$p = 0,002$	$p < 0,001$
Trenažna intervencija	$p = 0,396$	$p = 0,616$	$p = 0,476$	$p = 0,776$	$p = 0,828$
Biološka dob	$p = 0,001$	$p = 0,003$	$p = 0,010$	$p = 0,081$	$p < 0,001$
Vrijeme $\times$ Trenažna intervencija	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,008$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Vrijeme $\times$ Biološka dob	$p = 0,015$	$p = 0,605$	$p = 0,159$	$p = 0,319$	$p = 0,416$
Vrijeme $\times$ Trenažna intervencija $\times$ Biološka dob	$p = 0,368$	$p = 0,687$	$p = 0,128$	$p = 0,032$	$p = 0,384$

Pojedinačni rezultati inicijalnog i finalnog mjerenja za izvedbu sprinta, skoka s pripremom, skoka iz čučnja, za indeks reaktivne jakosti i za jakost mišića opružaća potkoljenice, uključujući veličine učinka i rezultate zavisnih t-testova (p vrijednost), kod biološki mlađih i biološki starijih dječaka nakon osmotjedne trenažne intervencije prikazani su u Tablicama 8., 9., 10., 11., i 12. Veličine učinka za sve izvedbene varijable u svim grupama prikazane su na Slikama 3. i 4.

4.1. Promjene u izvedbi sprinta u skupinama biološki mlađih i biološki starijih dječaka

Rezultati ANOVA-e za ponavljana mjerenja za varijablu sprint 20 m (Tablica 7.) ukazali su na značajan glavni učinak za faktor vremena ($p < 0,001$) i za faktor biološke dobi ($p = 0,001$), dok je značajan interakcijski učinak opažen između faktora vremena i trenažne intervencije ($p < 0,001$) i između faktora vremena i biološke dobi ($p = 0,015$).

Tablica 8. Promjene u izvedbi sprinta, zajedno s veličinom učinka, za skupinu biološki mlađih i biološki starijih ispitanika.

Skupina po trenažnoj intervenciji	Skupina po biološkoj dobi	Vrijeme testiranja	Rezultati		
			AS $\pm$ SD	Veličina učinka	Značajnost razlike (p vrijednost)
Eksperimentalna	Biološki mlađi	Inicijalno	3,24 $\pm$ 0,32	0,62 (umjerena)	$p < 0,001$
		Finalno	3,03 $\pm$ 0,32		
	Biološki stariji	Inicijalno	2,99 $\pm$ 0,29	0,32 (mala)	$p = 0,003$
		Finalno	2,89 $\pm$ 0,32		
Kontrolna	Biološki mlađi	Inicijalno	3,29 $\pm$ 0,46	0,11 (trivijalna)	$p = 0,843$
		Finalno	3,24 $\pm$ 0,46		
	Biološki stariji	Inicijalno	2,94 $\pm$ 0,46	-0,02 (trivijalna)	$p = 0,843$
		Finalno	2,95 $\pm$ 0,49		

Po završetku osmotjedne trenažne intervencije, biološki mlađi ispitanici ostvarili su statistički značajan napredak u vremenu sprinta na 20 m ($p < 0,001$), a veličina učinka bila je umjerena (0,62). Biološki stariji ispitanici također su ostvarili statistički značajan napredak u

vremenu sprinta na 20 m ($p = 0,003$), a veličina učinka bila je mala (0,32). Kod kontrolnih skupina nije uočena statistički značajna promjena između inicijalnog i finalnog mjerenja u ovoj varijabli, a veličine učinka za obje skupine bile su trivijalne (Tablica 8.).

Kod ispitanika koji su sudjelovali u osmotjednoj trenažnoj intervenciji, poboljšanje izvedbe sprinta kod biološki mlađih ispitanika, promatrano u apsolutnim jedinicama, bilo je za 0,11 s (95% CI = 0,06 s – 0,16 s) veće u odnosu na biološki starije ispitanike.

4.2. Promjene u izvedbi skokova u skupinama biološki mlađih i biološki starijih dječaka

Rezultati ANOVA-e za ponavljana mjerenja za varijablu skok s pripremom (Tablica 7.) ukazali su na značajan glavni učinak za faktor vremena ($p = 0,009$) i za faktor biološke dobi ($p = 0,003$), dok je značajan interakcijski učinak opažen između faktora vremena i trenažne intervencije ($p < 0,001$).

Tablica 9. Promjene u izvedbi skoka s pripremom (cm), zajedno s veličinom učinka, za skupinu biološki mlađih i biološki starijih ispitanika.

Skupina po trenažnoj intervenciji	Skupina po biološkoj dobi	Vrijeme testiranja	Rezultati		
			AS $\pm$ SD	Veličina učinka	Značajnost razlike (p vrijednost)
Eksperimentalna	Biološki mlađi	Inicijalno	21,4 $\pm$ 5,2	0,41 (mala)	p = 0,001
		Finalno	23,7 $\pm$ 5,7		
	Biološki stariji	Inicijalno	25,8 $\pm$ 5,7	0,28 (mala)	p = 0,045
		Finalno	27,6 $\pm$ 7,0		
Kontrolna	Biološki mlađi	Inicijalno	22,7 $\pm$ 6,3	-0,05 (trivijalna)	p = 0,491
		Finalno	22,4 $\pm$ 6,6		
	Biološki stariji	Inicijalno	25,7 $\pm$ 5,1	-0,08 (trivijalna)	p = 0,597
		Finalno	25,3 $\pm$ 5,4		

Po završetku osmotjedne trenažne intervencije, biološki mlađi ispitanici ostvarili su statistički značajan napredak u visini skoka s pripremom ($p = 0,001$), a veličina učinka bila je mala (0,41). Biološki stariji ispitanici također su ostvarili statistički značajan napredak u visini skoka s pripremom ($p = 0,045$), a veličina učinka bila je također mala (0,28). Kod kontrolnih skupina nije uočena statistički značajna promjena između inicijalnog i finalnog mjerenja u ovoj varijabli, a veličine učinka za obje skupine bile su trivijalne (Tablica 9.).

Kod ispitanika koji su sudjelovali u osmotjednoj trenažnoj intervenciji, nije bilo razlika između skupina u poboljšanju izvedbe skoka s pripremom kod biološki mlađih u usporedbi s biološki starijim ispitanicima (razlika između skupina promatrana u apsolutnim jedinicama iznosila je 0.5 cm (95% CI = -0.5 cm - 1,5 cm)).

Rezultati ANOVA-e za ponavljana mjerenja za varijablu skok iz čučnja (Tablica 7.) ukazali su na značajan glavni učinak za faktor vremena ($p = 0,001$) i za faktor biološke dobi ($p = 0,010$), dok je značajan interakcijski učinak opažen između faktora vremena i trenažne intervencije ($p = 0,008$).

Tablica 10. Promjene u izvedbi skoka iz čučnja (cm), zajedno s veličinom učinka, za skupinu biološki mlađih i biološki starijih ispitanika.

Skupina po trenažnoj intervenciji	Skupina po biološkoj dobi	Vrijeme testiranja	Rezultati		
			AS $\pm$ SD	Veličina učinka	Značajnost razlike (p vrijednost)
Eksperimentalna	Biološki mlađi	Inicijalno	20,0 $\pm$ 5,3	0,65 (umjerena)	$p < 0,001$
		Finalno	24,0 $\pm$ 6,6		
	Biološki stariji	Inicijalno	25,0 $\pm$ 6,4	0,20 (mala)	$p = 0,226$
		Finalno	26,4 $\pm$ 8,0		
Kontrolna	Biološki mlađi	Inicijalno	21,5 $\pm$ 6,0	0,05 (trivijalna)	$p = 0,729$
		Finalno	21,8 $\pm$ 6,9		
	Biološki stariji	Inicijalno	24,1 $\pm$ 6,4	0,07 (trivijalna)	$p = 0,731$
		Finalno	24,5 $\pm$ 5,1		

Po završetku osmotjedne trenažne intervencije, biološki mlađi ispitanici ostvarili su statistički značajan napredak u visini skoka iz čučnja ($p < 0,001$), a veličina učinka bila je umjerena (0,65). Biološki stariji ispitanici nisu ostvarili statistički značajan napredak u visini skoka iz čučnja ($p = 0,226$), a veličina učinka bila je mala (0,20). Kod kontrolnih skupina nije uočena statistički značajna promjena između inicijalnog i finalnog mjerenja u ovoj varijabli, a veličine učinka za obje skupine bile su trivijalne (Tablica 10.).

Kod ispitanika koji su sudjelovali u osmotjednoj trenažnoj intervenciji, poboljšanje izvedbe skoka iz čučnja kod biološki mlađih ispitanika, promatrano u apsolutnim jedinicama, bilo je za 2,6 cm (95% CI = 1,2 cm - 4,0 cm) veće u odnosu na biološki starije ispitanike.

Rezultati ANOVA-e za ponavljana mjerenja za varijablu indeks reaktivne jakosti (Tablica 7.) ukazali su na značajan glavni učinak za faktor vremena ($p = 0,002$) dok je značajan interakcijski učinak opažen između faktora vremena i trenažne intervencije ($p < 0,001$) te između faktora vremena, trenažne intervencije i biološke dobi ($p = 0,032$).

Tablica 11. Promjene u rezultatima indeksa reaktivne jakosti (mm/ms), zajedno s veličinom učinka, za skupinu biološki mlađih i biološki starijih ispitanika.

Skupina po trenažnoj intervenciji	Skupina po biološkoj dobi	Vrijeme testiranja	Rezultati		
			AS $\pm$ SD	Veličina učinka	Značajnost razlike (p vrijednost)
Eksperimentalna	Biološki mlađi	Inicijalno	0,53 $\pm$ 0,14	1,00 (velika)	$p < 0,001$
		Finalno	0,74 $\pm$ 0,22		
	Biološki stariji	Inicijalno	0,71 $\pm$ 0,25	0,30 (mala)	$p = 0,059$
		Finalno	0,79 $\pm$ 0,28		
Kontrolna	Biološki mlađi	Inicijalno	0,68 $\pm$ 0,31	-0,14 (trivijalna)	$p = 0,353$
		Finalno	0,64 $\pm$ 0,25		
	Biološki stariji	Inicijalno	0,70 $\pm$ 0,19	0,05 (trivijalna)	$p = 0,794$
		Finalno	0,71 $\pm$ 0,21		

Po završetku osmotjedne trenažne intervencije, biološki mlađi ispitanici ostvarili su statistički značajan napredak u rezultatu indeksa reaktivne jakosti ($p < 0,001$), a veličina učinka bila je velika (1,00). Biološki stariji ispitanici nisu ostvarili statistički značajan napredak u rezultatu

indeksa reaktivne jakosti ($p = 0,059$), a veličina učinka bila je mala (0,30). Kod kontrolnih skupina nije uočena statistički značajna promjena između inicijalnog i finalnog mjerenja u ovoj varijabli, a veličine učinka za obje skupine bile su trivijalne (Tablica 11.).

Kod ispitanika koji su sudjelovali u osmotjednoj trenažnoj intervenciji, napredak u reaktivnom indeksu jakosti kod biološki mlađih ispitanika, promatrano u apsolutnim jedinicama, bio je za 0,13 mm/ms (95% CI = 0,07 mm/ms – 0,19 mm/ms) veći u odnosu na biološki starije ispitanike.

4.3. Promjene u izokinetičkoj jakosti mišića opružaća potkoljenice u skupinama biološki mlađih i biološki starijih dječaka

Rezultati ANOVA-e za ponavljana mjerenja za varijablu izokinetička jakost mišića opružaća potkoljenice (Tablica 7.) ukazali su na značajan glavni učinak za faktor vremena ($p < 0,001$) i za faktor biološke dobi ($p < 0,001$), dok je značajan interakcijski učinak opažen između faktora vremena i trenažne intervencije ($p < 0,001$).

Tablica 12. Promjene u rezultatima izokinetičke jakosti mišića opružaca potkoljenice (Nm), zajedno s veličinom učinka, za skupinu biološki mlađih i biološki starijih ispitanika.

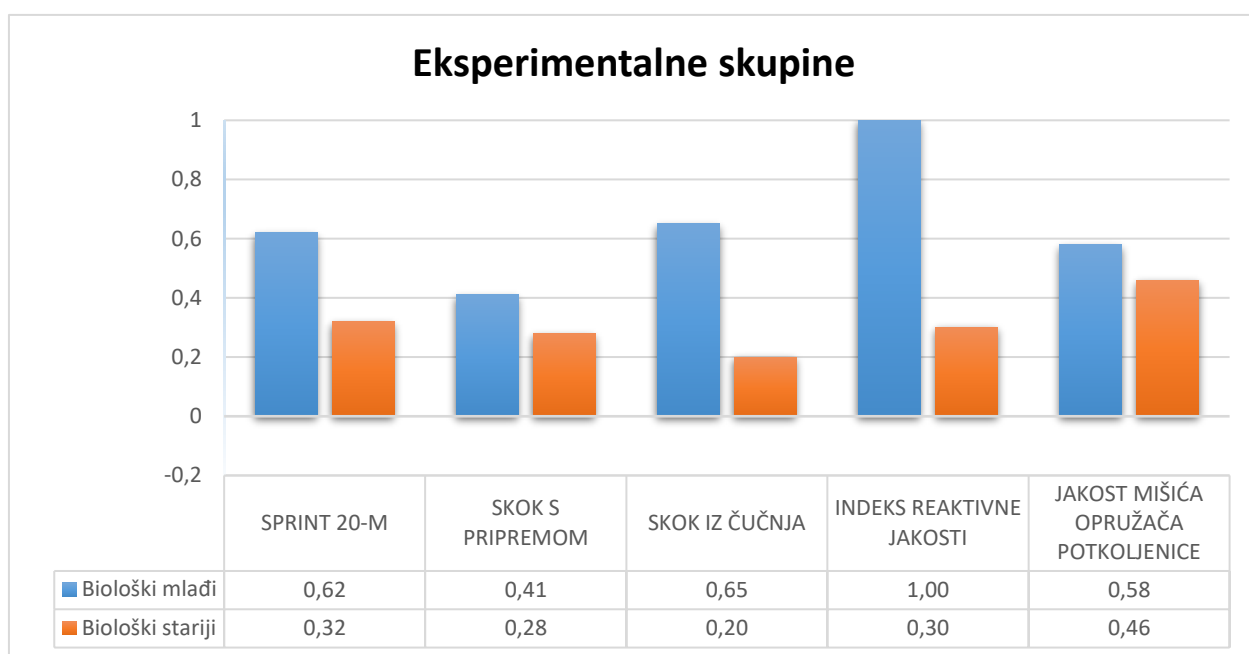
Skupina po trenažnoj intervenciji	Skupina po biološkoj dobi	Vrijeme testiranja	Rezultati		
			AS $\pm$ SD	Veličina učinka	Značajnost razlike (p vrijednost)
Eksperimentalna	Biološki mlađi	Inicijalno	101,4 $\pm$ 21,4	0,58 (umjerena)	p < 0,001
		Finalno	114,5 $\pm$ 21,7		
	Biološki stariji	Inicijalno	145,7 $\pm$ 28,3	0,46 (mala)	p = 0,001
		Finalno	159,0 $\pm$ 28,9		
Kontrolna	Biološki mlađi	Inicijalno	106,6 $\pm$ 23,8	0,15 (trivijalna)	p = 0,050
		Finalno	110,5 $\pm$ 27,2		
	Biološki stariji	Inicijalno	150,1 $\pm$ 33,4	-0,04 (trivijalna)	p = 0,812
		Finalno	148,8 $\pm$ 33,4		

Po završetku osmotjedne trenažne intervencije, biološki mlađi ispitanici ostvarili su statistički značajan napredak u rezultatu izokinetičke jakosti mišića opružaca potkoljenice (p < 0,001), a veličina učinka bila je umjerena (0,58). Biološki stariji ispitanici također su ostvarili statistički značajan napredak u rezultatu izokinetičke jakosti mišića opružaca potkoljenice (p = 0,001), a veličina učinka bila je mala (0,46). Kod kontrolnih skupina nije uočena statistički značajna promjena između inicijalnog i finalnog mjerenja u ovoj varijabli, a veličine učinka za obje skupine bile su trivijalne (Tablica 12.).

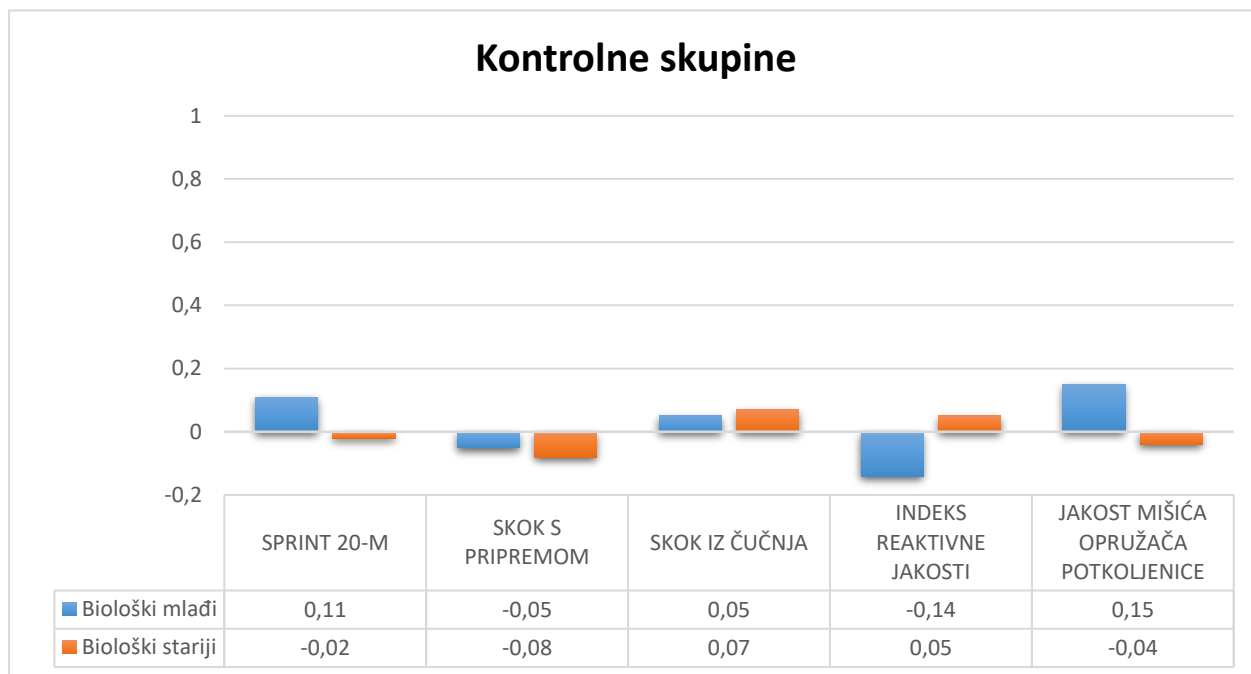
Kod ispitanika koji su sudjelovali u osmotjednoj trenažnoj intervenciji, nije bilo razlika između skupina u poboljšanju izokinetičke jakosti mišića opružaca potkoljenice kod biološki mlađih u usporedbi s biološki starijim ispitanicima (razlika između skupina promatrana u apsolutnim jedinicama iznosila je -0,2 Nm (95% CI = -4,0 Nm - 3,6 Nm)).

4.4. Promjene u živčanomišićnoj izvedbi u skupinama biološki mlađih i biološki starijih dječaka prikazane veličinom učinka

Veličine učinka za sve izvedbene varijable u svim promatrnim skupinama ispitanika prikazane su na Slici 3. (eksperimentalne skupine) i Slici 4. (kontrolne skupine).



Slika 3. Veličina učinka po Cohen-u za sve izvedbene varijable u eksperimentalnim skupinama.



Slika 4. Veličina učinka po Cohen-u za sve izvedbene varijable u kontrolnim skupinama.

5. RASPRAVA

Cilj ovog rada bio je: (1) usporediti utjecaj strukturiranog skakačkoga treninga u trajanju od osam tjedana s utjecajem redovnog programa Tjelesne i zdravstvene kulture na pokazatelje živčanomišićne izvedbe kod dječaka sedmih i osmih razreda osnovne škole različite biološke dobi, i (2) istražiti utjecaj biološke dobi na veličinu učinka strukturiranog skakačkoga treninga tijekom istog vremenskog razdoblja.

Glavni nalazi ovog istraživanja su slijedeći: (1) učenici koji su bili u eksperimentalnim skupinama, odnosno skupinama u kojima se provodila skakačka trenažna intervencija, poboljšali su sve aspekte živčanomišićne izvedbe, dok kod učenika iz kontrolnih skupina, odnosno onih koji su pratili redovan program Tjelesne i zdravstvene kulture, nije evidentirana odgovarajuća promjena u živčanomišićnoj izvedbi; i (2) biološki mlađi ispitanici poboljšali su neke, ali ne sve aspekte živčanomišićne izvedbe kao odgovor na osmotjednu skakačku trenažnu intervenciju, u većoj mjeri naspram svojih biološki starijih kolega.

Uspoređujući učinke skakačke trenažne intervencije između biološki mlađih i biološki starijih ispitanika, značajan trosmjerni interakcijski učinak ($\text{vrijeme} \times \text{trenažna intervencija} \times \text{biološka dob}$) opažen je za indeks reaktivne jakosti, mjere koja predstavlja sposobnost pojedinca da vrši brzu promjenu režima mišićnog rada iz ekscentričnog u koncentrični (Flanagan i Comyns, 2008). Promjena između inicijalnog i finalnog mjerenja za indeks reaktivne jakosti u biološki mlađih ispitanika bila je i najveća promjena u ovom istraživanju (veličina učinka iznosila je 1,00; za odgovarajuću kontrolnu skupinu veličina učinka iznosila je -0,14).

Biološki mlađi ispitanici po završetku intervencije u trajanju od osam tjedana ostvarili su statistički značajan napredak u svih pet promatranih mjera živčanomišićne izvedbe (sprint na 20 m, skok s pripremom, skok iz čučnja, indeks reaktivne jakosti i jakost mišića opružaća potkoljenice), dok su biološki stariji ispitanici ostvarili statistički značajan napredak u tri mjere živčanomišićne izvedbe (sprint na 20 m, skok s pripremom i jakost mišića opružaća potkoljenice). Veličina učinka koja opisuje napredak od inicijalnog do finalnog mjerenja kretala se kod biološki

mlađih ispitanika u rasponu od „malog“ do „velikog“ (0,41 – 1,00), dok je veličina učinka kod biološki starijih ispitanika bila općenito niža i kretala se u rasponu od „malog“ do „umjerenog“ (0,20 – 0,56).

Potrebno je odmah istaknuti kako je postignuti napredak kod obje eksperimentalne skupine, odnosno kod biološki mlađih i biološki starijih ispitanika koji su sudjelovali u skakačkoj trenažnoj intervenciji, ostvaren bez pojave bilo kakve ozljede lokomotornog sustava, što ide u prilog nedavno objavljenim smjernicama glede sportskog razvoja mladih osoba u kojima se napominje da bi djeca i adolescenti trebali sudjelovati u različitim trenažnim programima, poput treninga mišićne jakosti, treninga s otporom ili pak pliometrijskog treninga, pomoću kojih će lakše ostvarivati svoj sportski razvoj i tjelesne potencijale (Bergeron i sur., 2015; Lloyd i sur., 2014).

5.1. Usporedba učinaka na izvedbu između skakačke trenažne intervencije i redovnog programa Tjelesne i zdravstvene kulture

Skakačka trenažna intervencija trajanja osam tjedana pokazala se kao bolji stimulus za poboljšanje sprinterske i skakačke izvedbe te izokinetičke jakosti mišića opružaca potkoljenice kod netreniranih učenika kronološke dobi 12-14 godina, u usporedbi s redovnim programom Tjelesne i zdravstvene kulture. Ovi nalazi se temelje na značajnoj dvosmjernoj interakciji vrijeme × trenažna intervencija, koja je evidentirana za svih pet promatranih testova živčanomišićne izvedbe. Čini se da nastava Tjelesne i zdravstvene kulture, koja se temelji uglavnom na izvedbenom programu loptačkih sportova (elementi nogometa, košarke, odbojke i rukometa, kao i njihovo igranje u različitim formama: „košarka tri na tri“, „nogomet četiri na četiri na male golove“, „odbojka dva na dva“ i „rukomet na jedan gol“), nije utjecala na poboljšanje skakačke i sprinterske izvedbe, kao ni na poboljšanje izokinetičke jakosti mišića opružaca potkoljenice, kod netreniranih dječaka kronološke dobi 12-14 godina, tako učinkovito kao skakačka trenažna intervencija u jednakom broju treninga (dva treninga tjedno) i jednakom vremenskom razdoblju trajanja (osam tjedana).

U preglednom radu i meta analizi koja je istraživala učinkovitost trenažnih intervencija tijekom nastave Tjelesne i zdravstvene kulture na poboljšanje mišićnog fitnesa kod adolescenata (Cox i sur., 2020), spominju se samo tri rada (Lloyd i sur., 2012 i 2016; Weeks i Beck, 2012) koja su prikazala značajan homogeni utjecaj na promjene u rezultatima školske netrenirane djece po završetku pliometrijske trenažne intervencije. Autori (Cox i sur., 2020) ističu da je potrebno više znanstvenih radova koji bi potvrdili učinkovitost pliometrijskog načina vježbanja u kontekstu poboljšanja mišićnog fitnesa u školskom okruženju, te da kineziolog koji radi u školi svakako mora propisane pliometrijske trenažne programe temeljiti na poštivanju individualnih različitosti u biološkoj dobi, trening iskustvu, vještinama i motoričkoj koordinaciji svojih učenika. Osim toga, Cox i sur. (2020) pišu kako pretraženi radovi generalno nisu bili prikladni, odnosno dovoljno praktični za provođenje tijekom nastave Tjelesne i zdravstvene kulture jer se nisu temeljili na pedagoškim smjernicama o početku i završetku nastavne godine, a mogući razlog slabog implementiranja programa za razvoj mišićnog fitnesa u programe Tjelesne i zdravstvene kulture jest i činjenica da su neki kineziolozi koji rade u školama izvijestili da nisu dovoljno kompetentni za provođenje različitih oblika treninga s otporom. U odgovoru na navedena opažanja i zamjerki pojedinačnim istraživanjima koja spominju Cox i sur. (2020), skakačka trenažna intervencija koja je činila osnovu ovog istraživanja provedena je od strane kineziologa s višegodišnjim iskustvom rada u osnovnoj školi i s iskustvom provedbe sadržaja za razvoj mišićnog fitnesa. Također, intervencija je periodizirana obzirom na progresiju motoričkih zadataka i komponenti volumena rada, zahtijevala je minimalne materijalne uvjete te je bila vrlo dobro prilagođena „netreniranim“ učenicima.

Rezultati ovog istraživanja mogli bi biti zanimljivi učiteljima i nastavnicima Tjelesne i zdravstvene kulture, kao i trenerima koji rade s djecom u razdoblju njihovog (pred)pubertetskog razvoja, jer ukazuju da se strukturirana skakačka trenažna intervencija relativno kratkog vremenskog trajanja može koristiti kao siguran podražaj za poboljšanje različitih aspekata živčanomišićne izvedbe školske populacije kronološke dobi 12-14 godina. Iako provođenje skakačkoga treninga ili drugih oblika treninga s otporom za vrijeme nastave Tjelesne i zdravstvene kulture nije uobičajena praksa, činjenica da su početak, odnosno završetak školske godine određeni unaprijed, ostavlja kineziolozima koji rade u školi mogućnost da takve trenažne programe kvalitetno podijele u mezocikluse koji su u stanju pokriti cijelu nastavnu godinu (Pichardo i sur.,

2019). Program Tjelesne i zdravstvene kulture uglavnom je orijentiran prema usvajanju različitih motoričkih znanja, odnosno svladavanju različitih motoričkih vještina, što je u suprotnosti sa programom strukturiranih skokova iz ovog doktorskog rada koji je prvenstveno nastojao poboljšati rezultate u živčanomišićnoj izvedbi. Međutim, superiorni rezultati ovog kratkoročnog skakačkoga programa u kontekstu poboljšanja izvedbi skokova i sprinta te jakosti mišića opružaca potkoljenice, uspoređujući ih s rezultatima redovnog programa Tjelesne i zdravstvene kulture baziranog uglavnom na loptačkim sportovima, mogu predstavljati smjernicu kineziolozima u školi na koji način nastavu Tjelesne i zdravstvene kulture u budućnosti učiniti korisnijom i zanimljivijom. Bez obzira na vremensku ograničenost jednog školskog sata (45 minuta) i strukturnu podijeljenost sata Tjelesne i zdravstvene kulture na više dijelova (uvodni, pripremni, glavni A, glavni B i završni dio) od kojih svaki ima svoje specifičnosti provođenja, dobro osmišljeni, prilagođeni prostornim uvjetima te kvalitetno praćeni tijekom samog provođenja, blokovi različitih programa koji imaju za cilj razvoj živčanomišićne funkcije i posljedično poboljšanje mišićnog fitnesa trebali bi naći svoje mjesto u izvedbenim programima svih učitelja i nastavnika Tjelesne i zdravstvene kulture. Pored toga, pri implementiranju skakačkih, pliometrijskih ili drugih oblika treninga s otporom tijekom školske godine, potrebno je voditi brigu o vremenu i razdoblju njihovog provođenja (Drenowatz i Greier, 2018; Behringer i sur., 2010; Faigenbaum i sur., 2009), odnosno nije isto provode li se takve trenažne metode na početku nastavne godine, po povratku s višednevnih školskih praznika ili pak pri kraju nastavne godine, kada su učenici i njihovi roditelji uglavnom fokusirani na školski uspjeh te često izostajanje s nastave Tjelesne i zdravstvene kulture nije neuobičajena pojava. U svim osnovnim školama u Republici Hrvatskoj nastava je podijeljena u dva polugodišta s unaprijed određenim brojem nastavnih tjedana (35), pri čemu prvo polugodište najčešće uključuje 15 tjedana. Upravo iz tih razloga, trenažni protokol ovog istraživanja provodio se početkom nastavne godine, odnosno u periodu od rujna do studenog iste kalendarske godine.

Sat nastave Tjelesne i zdravstvene kulture uglavnom traje 45-60 minuta (Duehring i sur., 2009), što je prikladno vrijeme za provođenje učinkovitog treninga s otporom (Lloyd i sur., 2014), a isto su potvrdili nalazi ovog istraživanja. Naime, skakački treninzi koji su činili eksperimentalni postupak nisu trajali duže od 25 minuta, uključujući i adekvatnu pripremu za provođenje samog treninga, što je učenicima ostavljalo dovoljno vremena za kvalitetno istezanje i relaksaciju mišićne mase po završetku treninga, odnosno dovoljno vremena kako bi se pripremili za slijedeći

nastavni sat. Poboljšanja svih aspekata živčanomišićne izvedbe uslijed osmotjedne skakačke trenažne intervencije ostvarena su bez prijavljenih ozljeda ili bolova, što dodatno potvrđuje opravdanost korištenja skakačkih (plimetrijskih) trenažnih vježbi u ovoj pedijatrijskoj populaciji.

5.2. Usporedba promjena u izvedbi nakon skakačke trenažne intervencije između biološki mlađih i biološki starijih dječaka

5.2.1. Promjene u izvedbi sprinta

Kod testa sprint na 20 m nije uočen statistički značajan trosmjerni interakcijski učinak za interakciju faktora vrijeme $\times$ trenažna intervencija $\times$ biološka dob (Tablica 7.). Shodno tome, može se zaključiti da razlike u kontekstu promjena u izvedbi sprinta između biološki mlađih i biološki starijih ispitanika koji su sudjelovali u skakačkoj trenažnoj intervenciji nisu bile evidentne. Analiza unutar skupina pokazala je kako se izvedba sprinta po završetku osmotjednog trenažnog perioda značajno poboljšala kod obje eksperimentalne skupine, a veći napredak pokazao se kod biološki mlađih ispitanika, kod kojih je veličina učinka iznosila 0,62 (ekvivalentna kontrolna skupina: 0,11), dok je kod biološki starijih ispitanika veličina učinka iznosila 0,32 (ekvivalentna kontrolna skupina: -0,02; Tablica 8.).

U svoj pregledni rad koji je analizirao utjecaj treninga s otporom i pliometrijskog treninga na poboljšanje mišićnog fitnesa kod mladih osoba, Peitz i sur. (2018) uključili su 21 istraživanje koje se bavilo utjecajem pliometrijskog treninga na poboljšanje, između ostalog, i izvedbe sprinta kod mladih osoba, te donose generalni zaključak kako učinak pliometrijskog treninga kod netreniranih mladih osoba prvenstveno prati princip specifičnosti samog treninga. Shodno njihovom zaključku, može se pretpostaviti kako bi napredak u izvedbi sprinta kod eksperimentalnih skupina u ovom istraživanju bio i veći da je trenažna intervencija uključivala više vježbi

unilateralnih i bilateralnih horizontalnih skokova. Trenažna se intervencija u ovom istraživanju, naime, sastojala dominantno od vertikalnih, a ne horizontalnih skokova.

Postoje dvije senzitivne faze, odnosno dva su perioda ubrzane adaptacije na trening sprinta kod dječaka, odnosno adolescenata (Balyi i Way, 2005). Prvi se javlja u razdoblju od pete do devete kronološke godine (Branta i sur., 1984), a drugi u razdoblju od 12. - 15. kronološke godine (Borms, 1986; Viru i sur., 1999), što je otprilike i razdoblje kada mlada muška osoba ulazi u dob pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine, odnosno preklapa se s ulaskom u pubertet. Poboljšanje u mišićnoj jakosti i posljedično u mjerama mišićne snage pripisuje se povećanoj razini hormona, prvenstveno testosterona i hormona rasta, uslijed ulaska u razdoblje puberteta (Forbes i sur., 2009; Round i sur., 1999). Trening sprinta, koji je usredotočen prvenstveno na razvoj mišićne jakosti, potom na razvoj mišićne snage i posljedično na razvoj sprinterske brzine trčanja, prikladniji je za razdoblje od 12. - 17. kronološke godine života mlade muške osobe (Rumpf i sur., 2012), zbog gore spomenutih razloga, odnosno zbog biološkog sazrijevanja (Malina i sur., 2004). Iako se skakački trening, odnosno pliometrijski trening, ne smatra specifičnom trenažnom metodom za poboljšanje izvedbe sprinta, učinkovitost takvog načina vježbanja kod mladih osoba u tom kontekstu već je opažena u ranijim istraživanjima. Na primjer, u jednom od rijetkih radova koji je pri istraživanju utjecaja skakačkoga treninga na rezultate izvedbe sprinta za ispitanike imao netrenirane mlade osobe (Kotzamanidis, 2006), autor je izvijestio kako je desetotjedni pliometrijski trenažni program sastavljen od različitih vrsta skokova poboljšao sprintersku izvedbu netreniranih dječaka pred pubertetske dobi. Pregledni rad Rumpfa i sur. (2012) zaključio je da je pliometrijski trening učinkovita metoda unaprjeđenja izvedbe trčanja u mladim osoba u fazi prije vršnog prirasta tjelesne visine, čak i u većoj mjeri nego trening sprinta.

U radu Lloyda i sur. (2016), čiji je eksperimentalni dizajn vrlo sličan eksperimentalnom dizajnu ovog istraživanja, autori su istraživali učinke tri različita oblika treninga s otporom na izvedbu sprinta kod netreniranih dječaka različite biološke dobi procijenjene pomoću vrijednosti vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine. Trenažni protokol je trajao šest tjedana s dva treninga tjedno te se održavao za vrijeme nastave Tjelesne i zdravstvene kulture. Prikazali su kako je izvedba sprinta na 20 m nakon intervencije pliometrijskim treningom kod biološki mlađih i biološki starijih dječaka poboljšana u približno jednakoj mjeri, a veličina učinka,

kao i u ovom istraživanju, bila je nešto veća kod biološki mlađih ispitanika (0,45) uspoređujući ih s biološki starijim ispitanicima (0,34).

Rezultati Radnora i sur. (2017), koji su u svom radu prikazali kako je pliometrijski trening rezultirao poboljšanjem vremena u testu sprint na 20 m kod biološki mlađih dječaka (kronološke dobi 12 godina) u većoj mjeri u usporedbi s njihovim biološki starijim kolegama (kronološke dobi 16 godina), također se slažu s rezultatima ovog istraživanja, a autori pretpostavljaju da je mogući razlog takvih rezultata nemogućnost adekvatnog povećanja koncentrične mišićne jakosti kod biološki starijih dječaka. Druga skupina autora (Rumpf i sur., 2012) u svom preglednom radu spominje specifične oblike treninga sprinta kao što su sprinterski trening, sprinterski trening s otporom i sprinterski trening uz asistenciju, dok u nespecifične oblike treninga sprinta ubrajaju trening mišićne jakosti i mišićne snage, pliometrijski trening i kombinirani trening. Autori (Rumpf i sur., 2012) su u analizu uključili četiri rada koja su istraživala utjecaj pliometrijskog treninga na sprintersku izvedbu mladih muških osoba različite biološke dobi (Diallo i sur., 2001; Kotzamanidis, 2003; Meylan i Malatesta, 2009; Thomas i sur., 2009). U prethodno spomenutim radovima pliometrijski treninzi su se održavali dva puta tjedno u vremenskom razdoblju od šest do deset tjedana, i značajno su poboljšali rezultate sprinta na 10 m (Meylan i Malatesta, 2009), 20 m (Diallo i sur., 2001; Kotzamanidis, 2003; Thomas i sur., 2009) i 30 m (Kotzamanidis, 2003), pri čemu je najveća veličina učinka prikazana kod biološki mlađih ispitanika tj. ispitanika koji još nisu dostigli dob pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine.

Izvedbu sprinta čini niz brzih, unilateralnih doskoka i odskoka, što može predstavljati izazov za ravnotežu osobe koja trči. Ravnoteža igra važnu ulogu u ciklusu istezanja i skraćivanja mišića i sprinterske izvedbe kod djece i adolescenata (Hammami i sur., 2016), a ispitanici iz ovoga istraživanja vježbe za razvoj ravnoteže izvodili su samo tijekom *RAMP* protokola zagrijavanja (stajanje na jednoj nozi sa zatvorenim i otvorenim očima; hodanje po liniji) pri čemu je ekstenzitet vježbanja bio vrlo nizak. Osim toga, samo četiri vježbe (skok u prednožni doskok, skok u prednožni doskok na jednu nogu, objenožni skok udalj iz mjesta i skok s noge u prednožni doskok na jednu nogu), od ukupno 20 vježbi iz skakačkoga programa ovog istraživanja, izvodile su se u horizontalnom smjeru, a od ostalih sprinterskih vježbi u sklopu *RAMP* protokola zagrijavanja

ispitanici su izvodili sprinterska ubrzanja iz padajućeg starta i iz ležećeg položaja do svega pet metara.

Zanimljivi su rezultati preglednog rada i meta analize Behma i sur. (2017) koji su prikazali kako je učinkovitost treninga mišićne snage, u koji ubrajaju i pliometrijski trening, u kontekstu poboljšanja rezultata sprinterskih sposobnosti kod mladih osoba generalno mala. Detaljnije, veličina učinka je iznosila 0,38, što se slaže s nalazima iz ovoga rada u kojima je zajednička veličina učinka za test sprint na 20 m kod eksperimentalnih skupina bila nešto veća (0,47), ali se još uvijek može klasificirati kao „mala”. Autori (Behm i sur., 2017) takve rezultate pripisuju neadekvatnoj razini ekscentrične mišićne jakosti i ravnoteže uslijed razlika u stupnju biološke zrelosti koji različito utječe na razinu kvalitete unilateralnih doskoka i odskoka koji su specifični za sprinterske treninge. Još jedan od mogućih faktora koji doprinose generalno boljim rezultatima (u smislu većeg napretka) u skakačkoj i sprinterskoj izvedbi u korist biološki mlađih dječaka, uspoređujući ih s njihovim biološki starijim vršnjacima, jest poboljšanje živčane koordinacije i sazrijevanje centralnog živčanog sustava (Myer i sur., 2013), što je nedavno opisano kao „sinergijska adaptacija”, odnosno istovremena prilagodba na specifičan proces koji je uvjetovan treningom i biološkim sazrijevanjem (Lloyd i sur., 2016).

5.2.2. Promjene u izvedbi skokova

Statistički značajan trosmjerni interakcijski učinak za interakciju faktora vrijeme $\times$ trenažna intervencija $\times$ biološka dob iskazan je za indeks reaktivne jakosti (Tablica 7.) temeljem čega se može zaključiti da u konkretnoj varijabli postoje razlike u veličini promjene od inicijalnog do finalnog mjerenja između biološki mlađih i biološki starijih ispitanika i između eksperimentalnih i kontrolnih skupina. Najveću pojedinačnu promjenu između inicijalnog i finalnog mjerenja kod biološki mlađih ispitanika pokazali su upravo rezultati indeksa reaktivne jakosti, za kojeg je veličina učinka iznosila 1,00 (uz statističku značajnost razlike između inicijalnog i finalnog mjerenja), dok je kod ekvivalentne kontrolne skupine veličina učinka iznosila -0,14 (bez statističke značajnosti razlika između inicijalnog i finalnog mjerenja). Veličina učinka za indeks reaktivne

jakosti kod biološki starijih ispitanika iz eksperimentalne skupine iznosila je 0,30 (uz statističku značajnost razlika između inicijalnog i finalnog mjerenja), dok je kod ekvivalentne kontrolne skupine veličina učinka iznosila 0,05 (bez statističke značajnosti razlika između inicijalnog i finalnog mjerenja).

Indeks reaktivne jakosti je mjera koja predstavlja sposobnost pojedinca da učini brzi prijelaz iz ekscentrične mišićne akcije u koncentričnu mišićnu akciju (Flanagan i Comyns, 2008), predstavlja ciklus istežanja i skraćivanja mišića srednje brzine (eng. *intermediate-speed SSC*), te zahtjeva kombinaciju koncentrične i elastične mišićne jakosti (Lloyd i sur., 2011). Mehanizam odgovoran za ovo poboljšanje ciklusa istežanja i skraćivanja mišića, koje je evidentno bilo učinkovitije kod biološki mlađih ispitanika, mogao bi se objasniti njihovom povećanom tolerancijom na ekscentrično opterećenje u mišićnotetivnim svezama tijekom izvođenja objenožnih skokova maksimalnim intenzitetom, što su sugerirali autori iz istraživanja koje je prikazalo slične rezultate u mjeri indeksa reaktivne jakosti kod dječaka kronološke dobi 12 godina po završetku četverotjedne intervencije pliometrijskim skokovima (Lloyd i sur, 2012). Također u suglasju s rezultatima ovog istraživanja, u radu Radnora i sur. (2017), koji je uspoređivao individualne odgovore školske djece na različite oblike treninga (pliometrijski trening i trening s otporom), po završetku šestotjedne trenažne intervencije, prikazani rezultati indeksa reaktivne jakosti (u kontekstu veličine napretka nakon intervencije) također idu u korist biološki mlađih ispitanika, uspoređujući ih s njihovim biološki starijim kolegama.

Statistički značajan trosmjerni interakcijski učinak nije uočen za preostala dva testa kojima se procjenjivala skakačka izvedba, konkretno za varijablu skok s pripremom (kretnja sporog ciklusa istežanja i skraćivanja mišića) i varijablu skok iz čučnja (kretnja koncentrične mišićne akcije, Tablica 7.). Unatoč izostanku statistički značajnog trosmjernog interakcijskog učinka za ove dvije varijable i izostanku pokazanih jasnih razlika između skupina po biološkoj dobi, analiza unutar skupina pokazala je kako biološki mlađi ispitanici, čini se, imaju veći potencijal za napredak u izvedbi skokova naspram svojih biološki starijih vršnjaka. Naime, skok s pripremom po završetku osmotjednog trenažnog razdoblja statistički je značajno poboljšán kod obje eksperimentalne skupine, a bolje rezultate (u kontekstu većeg napretka) polučili su biološki mlađi ispitanici, kod kojih je veličina učinka iznosila 0,41 (ekvivalentna kontrolna skupina: -0,05), dok je kod biološki

starijih ispitanika veličina učinka iznosila 0,28 (ekvivalentna kontrolna skupina: -0,08). U testu skok iz čučnja statistički značajan napredak od inicijalnog do finalnog mjerenja uočen je samo kod biološki mlađih ispitanika s prikazanom veličinom učinka od 0,65 (ekvivalentna kontrolna skupina: 0,05), dok biološki stariji ispitanici po završetku osmotjednog skakačkoga programa nisu ostvarili značajan napredak (veličina učinka 0,20; ekvivalentna kontrolna skupina: 0,07).

Biološki mlađi ispitanici očito imaju veću osjetljivost na podražaj tipa skakačke trenažne intervencije naspram svojih biološki starijih vršnjaka. Nalazi ovog istraživanja su u suglasju sa zaključcima preglednog rada Peitza i sur. (2018), koji je uključivao pregled 20 radova koji su proučavali utjecaj pliometrijskog treninga na poboljšanje skakačke izvedbe kod djece i adolescenata. U osam radova promatrana varijabla bio je skok iz čučnja, u 16 radova skok s pripremom i u devet radova indeks reaktivne jakosti. U zaključku Peitz i sur. (2018) pišu da biološka dob različito utječe na učinke trenažnih intervencija kod djece i adolescenata, odnosno da biološki mlađi pojedinci veći napredak u izvedbi skokova i sprinta ostvaruju nakon pliometrijskih treninga, dok biološki stariji ispitanici bolje reagiraju na intervenciju tipa trening s otporom. Bolji rezultati (u kontekstu većeg napretka) u skakačkoj izvedbi kod biološki mlađih ispitanika mogli bi se pripisati i privremenom fenomenu „adolescentske nespretnosti”, koja je vjerojatnija kod biološki starijih ispitanika. Termin „adolescentska nespretnost” opisuje fenomen kada dolazi do slabljenja motoričke koordinacije uslijed razlika u vremenu početka rasta trupa i nogu (Philippaerts i sur., 2006; Lloyd i sur., 2011), odnosno razlika u početku ubrzanog rasta u visinu (Beunen i Malina, 1988; Eckrich i Strohmeyer, 2006). Pojava „adolescentske nespretnosti” osobito je izražena pri izvođenju pliometrijskih aktivnosti, jer povišeno težište tijela uslijed razlike u dimenzijama pojedinih dijelova tijela, u kombinaciji s povećanim prirastom tjelesne mase, adolescentima otežava kvalitetnu kontrolu trupa (Chu i Myer, 2013). Nedostatak motoričke koordinacije pripisuje se nemogućnosti živčanih putova da se dovoljno brzo prilagode pratećim promjenama dimenzija tijela (Quatman-Yates i sur., 2012).

Zanimljivi su rezultati preglednog rada i meta analize Behma i sur. (2017) koji su prikazali kako je učinkovitost treninga mišićne snage, u koji ubrajaju i pliometrijski trening, na poboljšanje skakačke izvedbe kod djece i adolescenata generalno umjerena, odnosno prosječna veličina učinka je iznosila 0,69, dok je u ovom radu prosječna veličina učinka za sve skakačke testove bila dosta

slična i iznosila 0,47. U zaključku autori (Behm i sur., 2017) navode kako je njihova meta analiza pokazala da je trening mišićne snage učinkovitiji od treninga mišićne jakosti za poboljšanje izvedbe skokova kod djece i adolescenata, dok je trening mišićne jakosti učinkovitiji od treninga mišićne snage ukoliko govorimo o poboljšanju izvedbe sprinta kod iste populacije.

U radu Lloyda i sur. (2016) i Radnora i sur. (2017) bolji rezultati (u kontekstu većeg napretka) skoka iz čučnja, kao i u ovom radu, prikazani su kod biološki mlađih ispitanika, a obje skupine autora ističu kako biološka dob djece i vrsta sportskog treninga igraju važnu ulogu u njihovom trenažnom odgovoru, dok je individualni odgovor na treninge kompleksan i faktori su manje jasni. Moran i sur. (2017) u svojoj meta analizi prikazuju kako je intervencija pliometrijskim treningom trajanja između četiri i 16 tjedana umjereno učinkovita u poboljšanju visine skoka s pripremom. Preciznije, autori su prikazali da je prilagodba na pliometrijski trening bila izraženija kod kronološki mlađih dječaka (10,00 - 12,99 godina), s veličinom učinka od 0,91 i kod kronološki starijih adolescenata (16,00 - 18,00 godina) s veličinom učinka od 1,02, dok je veličina učinka prikazana za dječake kronološke dobi 13,00 - 15,99 godina, bez obzira na veći ekstenzitet treninga, bila najniža (0,47). Iako je analiza uključivala samo tri rada koja su procijenila biološku dob svojih ispitanika (Ramirez-Campillo i sur., 2015 a; 2015 b; 2015 c), autori pretpostavljaju da je pliometrijski trening umjereno učinkovit tijekom razdoblja prije i nakon dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine, a manje učinkovit u razdoblju oko kao i u samoj dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine. Takve rezultate pripisuju mogućim pozadinskim trenažnim mehanizmima, odnosno promjenama u čvrstoći različitih elastičnih elemenata mišićnotetivnih veza; prijelazu prema mišićnim vlaknima tipa II; povećanju raspona mišićne kontraktilnosti; povećanju veličine mišića; promijenjenom kutu fascije; boljoj među mišićnoj koordinaciji; poboljšanom brzinom protoka živčanih impulsa prema mišićima agonistima i boljoj iskoristivosti ciklusa istezanja i skraćivanja mišića (Marković i Mikulić, 2010). U spomenuta tri rada (Ramirez-Campillo i sur., 2015 a; 2015 b; 2015 c) ispitanici su trenirali dva puta tjedno kroz ukupno šest tjedana, a ispitanici starije biološke dobi odradili su program koji je uključivao veći ili jednak broj kontakata stopala s podlogom u odnosu na biološki mlađe ispitanike, koji su unatoč istom ili pak manjem trenažnom volumenu ostvarili veći napredak u visini skoka s pripremom, što se slaže s rezultatima ovog istraživanja.

5.2.3. Promjene u jakosti mišića opružača potkoljenice

U ovom radu postavljena hipoteza sugerirala je da će veći napredak u jakosti mišića opružača potkoljenice, nakon osmotjedne skakačke trenažne intervencije, ostvariti biološki stariji ispitanici. Međutim, razlike u veličini promjene jakosti mišića opružača potkoljenice između biološki mlađih i biološki starijih učenika nisu potvrđene rezultatima ANOVA-e za ponovljena mjerenja, što je razvidno iz nepostojanja statističke značajnosti interakcijskog učinka za interakciju faktora vrijeme $\times$ trenažna intervencija $\times$ biološka dob (Tablica 7.). Ukoliko razliku između biološki mlađih i biološki starijih ispitanika analiziramo zasebno tj. promatranjem promjena unutar skupina, uočavamo kako su obje eksperimentalne skupine poboljšale rezultate izokinetičke jakosti mišića opružača potkoljenice, a veličina učinka ponovno je bila, iako s minimalnom razlikom, na strani biološki mlađih ispitanika (veličina učinka za biološki mlađe ispitanike iznosila je 0,58 (ekvivalentna kontrolna skupina: 0,15), odnosno 0,46 (ekvivalentna kontrolna skupina: -0,04) za biološki starije ispitanike; Tablica 12.). Ponovno, kao što je bio slučaj kod analize izvedbe sprinta, usporedba učinaka trenažne intervencije između biološki mlađih i biološki starijih ispitanika, promatrana na razini promjena unutar skupina, može ukazivati na činjenicu da su biološki mlađi ispitanici iskazali nešto veći potencijal za napretkom u usporedbi sa svojim biološki starijim kolegama; međutim, ovo se ne može potvrditi zbog izostanka trosmjernog interakcijskog učinka ANOVA-e za ponavljana mjerenja (vrijeme $\times$ trenažna intervencija $\times$ biološka dob).

Pozadinski mehanizmi koji bi mogli objasniti poboljšanje u rezultatima izokinetičke jakosti mišića opružača potkoljenice kod školske netrenirane populacije, možda uključuju promjene u veličini mišića i/ili promjene u opsegu aktivacije mišićnotetivnih sveza. Međutim, ti čimbenici u ovom istraživanju nisu procjenjivani. Potrebno je istaknuti kako je u ovom istraživanju trenažni program skokova bio sastavljen od vježbi koje su zahtijevale sinkroniziranu aktivaciju mišića u nizu zglobova dok se je testiranje izokinetičke jakosti provodilo tijekom izoliranog pokreta u jednom zglobu (zglobu koljena).

U svojoj nedavnoj meta analizi Behm i sur. (2017) navode kako se vrlo malo znanstvenika bavilo istraživanjem utjecaja skakačkog/pliometrijskog treninga na jakost mišića donjih ekstremiteta kod djece i adolescenata, što ovom istraživanju daje dodatnu težinu. Njihova meta analiza je uspoređivala učinkovitost tradicionalnog treninga mišićne jakosti i treninga mišićne snage na pokazatelje mišićne jakosti, mišićne snage i brzine. Rezultati su pokazali kako je trening mišićne snage (u kojeg ubrajaju i skakački, odnosno pliometrijski trening) učinkovitiji od treninga mišićne jakosti za poboljšanje visine skoka kod djece i adolescenata, dok su za poboljšanje izvedbe sprinta pokazatelji drukčiji, odnosno trening mišićne jakosti se pokazao učinkovitijim od treninga mišićne snage. U zaključku autori naglašavaju da bi u trenažni proces kod mladih osoba trening mišićne jakosti trebao biti inkorporiran u program vježbanja prije treninga mišićne snage kako bi mlade osobe uspostavile dovoljnu razinu mišićne jakosti za aktivnosti u sklopu treninga mišićne snage (Behm i sur., 2017).

Peitz i sur. (2018) u svojoj meta analizi pišu da usporedba treninga mišićne jakosti, pliometrijskog treninga i treninga mišićne snage sugerira kako trening mišićne snage (u kojeg ubrajaju i skakački, odnosno pliometrijski trening) polučuje najbolje rezultate ukoliko se u trenažnom procesu provode isključivo vježbe za razvoj mišićne snage, dok kombinacija treninga mišićne jakosti i pliometrijskog treninga pokazuje najbolje rezultate pri testiranju više različitih parametara. Drugim riječima, isto kao i u zaključku Behma i sur. (2017), izgleda da različiti oblici treninga mišićne jakosti i pliometrijskog treninga mogu biti učinkoviti kod djece i adolescenata i da moraju biti dizajnirani sukladno njihovim potrebama. Autori (Peitz i sur., 2018) također ističu da trening s otporom mora biti inkorporiran u proces vježbanja djece i adolescenata prije pliometrijskog treninga, kako bi bili u mogućnosti ostvariti adekvatnu razinu mišićne jakosti za aktivnosti u sklopu treninga mišićne snage.

Tako su na primjer, Chaouachi i sur. (2014) uspoređivali tradicionalni trening mišićne jakosti s treningom za razvoj mišićne snage (olimpijsko dizanje utega) i pliometrijskim treningom kod dječaka kronološke dobi 10-12 godina. Pliometrijski trening se pokazao učinkovitijim od tradicionalnog treninga mišićne jakosti kod testova ravnoteže, sprinta, i jakosti mišića opružaca potkoljenice. Autori (Chaouachi i sur., 2014) zaključuju kako su trening olimpijskog dizanja utega i pliometrijski trening polučili slične ili bolje rezultate uspoređujući ih s tradicionalnim treningom

mišićne jakosti, međutim, preporučuju korištenje sva tri modela vježbanja. Rezultati tog rada jasno su prikazali učinkovitost pliometrijskog treninga u poboljšanju rezultata testova sprinta i jakosti mišića opružaca potkoljenice, što su prikazali i rezultati ovog doktorskog rada. Autori u zaključku naglašavaju važnost korištenja različitih modela vježbanja kod pedijatrijske populacije, što se slaže s razmišljanjem autora ovog doktorskog rada, koji vjeruje kako će rezultati ovog istraživanja potaknuti učitelje i nastavnike Tjelesne i zdravstvene kulture da u svoje nastavne programe implementiraju različite trenažne intervencije s ciljem poboljšanja prvenstveno zdravstvenog statusa učenika, potom poboljšanja različitih motoričkih izvedbi, a u konačnici i podizanja ugleda samog predmeta Tjelesne i zdravstvene kulture.

5.3. Testiranje hipoteza

Prvom hipotezom ovog istraživanja pretpostavilo se poboljšanje izvedbe skokova kod eksperimentalnih skupina, odnosno kod skupina koje su sudjelovale u skakačkoj trenažnoj intervenciji, u većoj mjeri nego kod kontrolnih skupina, odnosno kod skupina koje su pratile redovan program Tjelesne i zdravstvene kulture. Hipoteza je potvrđena. Naime, ANOVA za ponavljana mjerenja ukazala je na statistički značajan dvosmjerni interakcijski učinak za faktore vremena i trenažne intervencije za sva tri testa kojima se procjenjivala izvedba skokova (skok s pripremom, skok iz čučnja i indeks reaktivne jakosti), što upućuje da je pretpostavka o izraženijem poboljšanju u izvedbi skokova kod eksperimentalnih skupina naspram kontrolnih skupina potvrđena.

Drugom hipotezom ovog istraživanja pretpostavilo se poboljšanje izvedbe sprinta kod eksperimentalnih skupina, odnosno kod skupina koje su sudjelovale u skakačkoj trenažnoj intervenciji, u većoj mjeri nego kod kontrolnih skupina, odnosno kod skupina koje su pratile redovan program Tjelesne i zdravstvene kulture. Hipoteza je potvrđena. Naime, ANOVA za ponavljana mjerenja ukazala je na statistički značajan dvosmjerni interakcijski učinak za faktore vremena i trenažne intervencije za test sprint na 20 m, što upućuje da je pretpostavka o izraženijem poboljšanju u izvedbi sprinta kod eksperimentalnih skupina naspram kontrolnih skupina potvrđena.

Trećom hipotezom ovog istraživanja pretpostavilo se poboljšanje jakosti mišića opružača potkoljenice dominantne noge, kod eksperimentalnih skupina, odnosno kod skupina koje su sudjelovale u skakačkoj trenažnoj intervenciji, u većoj mjeri nego kod kontrolnih skupina, odnosno kod skupina koje su pratile redovan program Tjelesne i zdravstvene kulture. Hipoteza je potvrđena. Naime, ANOVA za ponavljana mjerenja ukazala je na statistički značajan dvosmjerni interakcijski učinak za faktore vremena i trenažne intervencije za test jakosti mišića opružača potkoljenice, što upućuje da je pretpostavka o izraženijem poboljšanju u jakosti mišića opružača potkoljenice kod eksperimentalnih skupina naspram kontrolnih skupina potvrđena.

Četvrtom hipotezom ovog istraživanja pretpostavilo se poboljšanje izvedbe skokova kod učenika obje eksperimentalne skupine, s tim da su se izraženija poboljšanja očekivala kod učenika mlađe biološke dobi. Hipoteza je djelomično potvrđena. Naime, ANOVA za ponavljana mjerenja ukazala je na statistički značajan trosmjerni interakcijski učinak za faktore vremena, trenažne intervencije i biološke dobi za jedan od tri testa kojima se procjenjivala izvedba skokova (za indeks reaktivne jakosti, ne i za skok s pripremom i za skok iz čučnja), što upućuje da je samo djelomično potvrđena pretpostavka o izraženijem poboljšanju u izvedbi skokova kod učenika mlađe naspram učenika starije biološke dobi. Ipak, iako razlike nisu potvrđene kroz značajne trosmjerne interakcijske učinke, treba spomenuti da je analiza unutar skupina ukazala na trend generalno većeg napretka u skakačkoj izvedbi biološki mlađih ispitanika naspram njihovih biološki starijih kolega. Konkretno, biološki mlađi ispitanici statistički značajno su napredovali nakon osmotjedne skakačke intervencije u svim testovima kojima se procjenjivala skakačka izvedba (skok s pripremom, skok iz čučnja, indeks reaktivne jakosti), dok su biološki stariji ispitanici ostvarili statistički značajan napredak samo u testu skok s pripremom (iako su sve veličine učinaka ukazivale na napredak u izvedbi).

Petom hipotezom ovog istraživanja pretpostavilo se poboljšanje izvedbe sprinta kod obje eksperimentalne skupine, s tim da su se izraženija poboljšanja očekivala kod učenika mlađe biološke dobi. Hipoteza je djelomično potvrđena. Naime, ANOVA za ponavljana mjerenja nije ukazala na statistički značajan trosmjerni interakcijski učinak za faktore vremena, trenažne intervencije i biološke dobi pa se sukladno tome ne može tvrditi da se izvedba sprinta nakon

skakačke trenažne intervencije poboljšala u većoj mjeri u skupini biološki mlađih naspram skupine biološki starijih dječaka. Ipak, temeljem analize unutar skupina, i biološki mlađi i biološki stariji ispitanici su po završetku skakačke trenažne intervencije u trajanju od osam tjedana ostvarili statistički značajan napredak u izvedbi sprinta na 20 m. Promatrano usporedbom veličine učinaka, poboljšanja su bila izraženija kod biološki mlađih ispitanika.

Šestom hipotezom ovog istraživanja pretpostavilo se poboljšanje jakosti mišića opružača potkoljenice dominantne noge kod obje eksperimentalne skupine, s tim da su se izraženija poboljšanja očekivala kod učenika starije biološke dobi. Hipoteza je djelomično potvrđena. ANOVA za ponavljana mjerenja nije ukazala na statistički značajan trosmjerni interakcijski učinak za faktore vremena, trenažne intervencije i biološke dobi pa se sukladno tome ne može tvrditi da se jakost mišića opružača potkoljenice nakon skakačke trenažne intervencije poboljšala u većoj mjeri u skupini biološki starijih naspram skupine biološki mlađih dječaka. Temeljem analize unutar skupina, obje eksperimentalne skupine, odnosno biološki mlađi i biološki stariji ispitanici su po završetku osmotjedne skakačke intervencije ostvarili statistički značajno poboljšanje u jakosti mišića opružača potkoljenice. Veličine učinka koje opisuju napredak po skupinama bile su vrlo slične (biološki mlađi 0,58; biološki stariji 0,46).

5.4. Praktična značajnost opaženih učinaka skakačke trenažne intervencije

Statistički značajne pozitivne promjene u rezultatima u korist učenika iz eksperimentalnih skupina, odnosno dječaka koji su sudjelovali u skakačkoj trenažnoj intervenciji, naspram učenika iz kontrolnih skupina, odnosno dječaka koji su pratili redovan program Tjelesne i zdravstvene kulture, potrebno je kratko sagledati i s aspekta njihove praktične značajnosti. U tom kontekstu, praktična značajnost nalaza ovog doktorskog rada može biti zanimljiva kineziolozima koji rade općenito s djecom i adolescentima, a posebice kineziolozima koji rade u školi.

Praktična značajnost nalaza ovog rada ogleda se, prije svega, u evidentnim učincima na poboljšanje zdravlja lokomotornog sustava djece i adolescenata. Pliometrijski/skakački trening evidentno je vrlo iskoristiv „alat“ za učinkovito poboljšanje izvedbe motoričkih obrazaca skokova i sprinta (koji zahtijevaju manifestaciju mišićne snage) kao i mišićne jakosti donjih ekstremiteta kod 12-14 godišnjih učenika. Ovo je praktično važno jer mlade osobe s općenito niskom razinom mišićnog fitnesa tijekom djetinjstva i adolescencije imaju potencijal postati tjelesno slabo razvijene zrele osobe kod kojih je povećan rizik razvoja funkcionalnih ograničenja i ostalih negativnih zdravstvenih parametara (Faigenbaum, 2018). Pored zdravstvenog aspekta, praktična značajnost nalaza ogleda se naravno i u učincima skakačkog/pliometrijskog treninga na poboljšanje opće motoričke izvedbe. Za očekivati je da će učenik s višom razinom mišićnog fitnesa, uspoređujući ga s učenikom niže razine mišićnog fitnesa, polučiti i bolje rezultate u izvedbi raznih drugih motoričkih zadataka što će u školskom okruženju rezultirati i boljom opisnom i numeričkom ocjenom pri sumativnom vrednovanju, a što opet za posljedicu može imati povećanje samopouzdanja učenika i njegov opsežniji i kvalitetniji angažman u ostalim školskim i izvanvanškolskim tjelesnim aktivnostima kao i usmjeravanje prema organiziranom sportu.

Praktična značajnost nalaza ogleda se konačno i u potrebi uvažavanja biološke dobi učenika u nastavi Tjelesne i zdravstvene kulture. Procjena biološke dobi kako je primijenjena u ovom istraživanju, iako zahtijeva određeni dodatni angažman učitelja i nastavnika Tjelesne i zdravstvene kulture, omogućava prilagodbu odnosno sinkronizaciju plana i programa s biološkom dobi učenika. Naime, znanstvena istraživanja su pokazala kako trenažni plan razvoja djece i adolescenata koncipiran na temelju biološke, a ne kronološke dobi, rezultira učinkovitijim trenažnim programom (Lloyd i Oliver, 2012). Na primjer, istraživanja sugeriraju da predadolescenti najveću korist imaju od trenažne metode koja zahtijeva visoku razinu živčane aktivacije (sprinterski trening i pliometrijski trening; Lloyd i Oliver, 2012), a to je potvrdilo i ovo istraživanje u kojem su biološki mlađi učenici generalno pokazali trend većeg napretka u sastavnicama mišićnog fitnesa od biološki starijih učenika. Ova saznanja svakako mogu pomoći učiteljima i nastavnicima Tjelesne i zdravstvene kulture s ciljem strateškog planiranja razvojnih programa koji će biti u stanju kapitalizirati „razdoblja ubrzane prilagodbe“. Iskorištavanje potencijala „razdoblja ubrzane prilagodbe“ očekivano će dovesti do bržeg i kvalitetnijeg poboljšanja mišićnog fitnesa i sportske izvedbe kod djece i adolescenata naspram planiranja tjelesnog vježbanja isključivo po kriteriju

kronološke dobi, odnosno pripadnosti pojedinom razredu. U tom kontekstu, bilo bi poželjno početkom nastavne godine, odnosno po izračunu vrijednosti vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine, učenike podijeliti u homogene skupine prema stupnju njihove biološke zrelosti i tek onda pristupiti izradi operativnog nastavnog programa. Takav koncept razmišljanja uključuje i izradu različitih skala za ocjenjivanje (za biološki mlađe i za biološki starije učenike). Naime, napredak učenika tijekom nastave Tjelesne i zdravstvene kulture često puta zna biti prikriven (morfološke značajke, trening iskustvo, anksioznost, introvertiranost, motivacija) odnosno djeca iste kronološke dobi mogu biti uspješnija u odnosu na kolege iz razreda, upravo zbog nejednakog stupnja biološke dobi. Ukoliko učitelji i nastavnici pri sumativnom vrednovanju motoričkih znanja, motoričkih sposobnosti, motoričkih dostignuća i funkcionalnih sposobnosti zanemare tu činjenicu, može se dogoditi da učenik ne bude pravedno ocijenjen.

5.5. Prednosti i ograničenja istraživanja

Prednosti/snage ovog istraživanja jesu sljedeće:

- Mali je broj istraživanja koja su proučavala utjecaj skakačke/pliometrijske trenažne intervencije na razvoj mišićnog fitnesa u djece i adolescenata „nesportaša” tj. djece i adolescenata koji nisu aktivno uključeni u sportski trening. S te strane, ovo istraživanje je vrijedan doprinos literaturi jer se nalazi temelje na sudjelovanju populacije muških osnovnoškolaca, odnosno djece/predadolescenata i adolescenata koji se ne bave aktivno organiziranim sportom.
- Mali je broj istraživanja koja su proučavala utjecaj skakačke trenažne intervencije na razvoj mišićnog fitnesa u djece i adolescenata u kontekstu nastave Tjelesne i zdravstvene kulture i uspoređivala učinkovitost takvog modaliteta vježbanja s učinkovitošću redovnog programa Tjelesne i zdravstvene kulture koji je propisan nacionalnim kurikulumom. Ovo istraživanje daje doprinos literaturi i s te strane.

- Istraživanje je osim kronološke dobi uzelo u obzir i biološku dob ispitanika i na taj način dalo svoj obol razumijevanju utjecaja kronološke i biološke dobi na razvoj mišićnog fitnesa kod muških osnovnoškolaca, odnosno djece/predadolescenata i adolescenata koji se ne bave aktivno organiziranim sportom.
- Provedba eksperimentalnog programa – skakačke trenažne intervencije - odvijala se na temelju preporučenih sigurnosnih smjernica za skakački/pliometrijski trening najuglednijih relevantnih udruga, i pod vodstvom i nadzorom školovanih osoba, odnosno diplomiranih kineziologa s višegodišnjim iskustvom rada u odgojno-obrazovnim ustanovama.
- Kvalitetno i detaljno su opisani korišteni trening deskriptori: volumen, intenzitet i ekstenzitet treninga te ekstenzitet odmora između dva treninga. Osim toga vidljiva je periodizacija rada i naglašena je važnost utjecaja ovog modaliteta tjelesnog vježbanja na živčanomišićnu izvedbu u određenim fazama dugoročnog tjelesnog razvoja mladih osoba.

Istraživanje također ima nekoliko ograničenja na koja se bitno osvrnuti i kratko ih prokomentirati:

- Bilo koja od uočenih razlika između biološki mlađih i biološki starijih ispitanika u smislu učinaka skakačke trenažne intervencije ne može se pripisati isključivo stupnju biološke zrelosti sudionika. Naime, biološki mlađi i biološki stariji učenici razlikovali su se u kronološkoj dobi te tjelesnoj masi i tjelesnoj visini, a ti faktori, neovisno o biološkoj zrelosti, mogli su utjecati na uočene promjene u rezultatima živčanomišićne izvedbe. Pored toga, velike standardne devijacije prikazane u rezultatima ovog rada naglašavaju značajna variranja u odgovorima na trenažnu intervenciju kod pedijatrijskih populacija.
- Regresijska jednadžba korištena u ovom radu za izračun vrijednosti vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine, temeljem koje se procjenjivala biološka dob ispitanika, ima standardnu pogrešku od oko 0,5 godina za dječake (Mirwald i sur., 2002). U završnu analizu ovog istraživanja uključeni su samo oni ispitanici čija je vrijednost vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine imala negativan,

odnosno pozitivan predznak (4 ispitanika s vrijednošću vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine 0,0 nisu uključeni u završnu analizu). Shodno tome, ispitanici u istraživanju čija je vrijednost vremenskog odmaka od dobi pri vršnoj brzini prirasta tjelesne visine bila u raponu između 0,1 i 0,5 godina (ukupno 17 ispitanika), odnosno u rasponu između -0,1 i -0,5 godina (ukupno 21 ispitanik) vjerojatno se ne mogu smatrati (a) da još nisu dosegli vršnu brzinu prirasta visine, tj. da su „pravi biološki mlađi” ispitanici u ovom istraživanju, odnosno (b) da su prošli vršnu brzinu prirasta tjelesne visine, tj. da su „pravi biološki stariji” ispitanici u ovom istraživanju.

- Prilikom inicijalnog i finalnog testiranja, opaženo je da su neki učenici imali određenih poteškoća pri pravilnom izvođenju skoka iz čučnja i skoka s pripremom. Neke poteškoće su svojstvene ovim testovima, kao npr. doskok na ispružena koljena, nepotpuna ekstenzija nogu u fazi leta, dodatno spuštanje odnosno priprema pri izvođenju skoka iz čučnja ili skok s korištenjem zamaha ruku. Neke se poteškoće pri izvođenju testnih skokova svakako mogu pripisati i privremenom fenomenu „adolescentske nespretnosti”, međutim, potrebno je naglasiti kako su ispitanici bili netrenirani dječaci školske dobi.

6. ZAKLJUČAK

Dobro strukturirana skakačka trenažna intervencija ima nedvosmisleno veći učinak na poboljšanje živčanomišićne izvedbe (izvedbe sprinta i skokova te jakosti mišića opružaća potkoljenice) u 12-14-godišnjih dječaka naspram redovnog programa Tjelesne i zdravstvene kulture. Shodno tome, učitelji i nastavnici Tjelesne i zdravstvene kulture, kao i sportski treneri koji rade s djecom ovog uzrasta, na temelju rezultata ovog istraživanja mogu dizajnirati učinkovite i prikladne trenažne intervencije i programe za svoje učenike i za djecu s kojom rade. U tom smislu, skakačka trenažna intervencija ne bi trebala biti jedini trenažni sadržaj, već bi trebala biti integrirana u programe koji podrazumijevaju uravnotežen i sveobuhvatan tjelesni i motorički razvoj djece i adolescenata.

Rezultati ovog istraživanja pokazali su kako se određene važne sastavnice živčanomišićne izvedbe, poput izvedbe sprinta i skokova te jakosti mišića opružaća potkoljenice u zdravih dječaka osnovnoškolskog uzrasta kronološke dobi 12-14 godina koji ne sudjeluju u organiziranoj izvanškolskoj sportskoj aktivnosti, mogu akutno poboljšati dobro strukturiranom skakačkom trenažnom intervencijom. Uspoređujući trenažne učinke u dječaka kronološke dobi 12-14 godina, različitih po biološkoj dobi, može se zaključiti kako biološki mlađi dječaci generalno ostvaruju jednak, a u nekim slučajevima i veći napredak u sastavnicama živčanomišićne izvedbe po završetku skakačke trenažne intervencije u trajanju od osam tjedana naspram svojih biološki starijih vršnjaka. Biološka dob, čini se, igra u najmanju ruku ograničenu ulogu u usmjeravanju tih poboljšanja u sastavnicama živčanomišićne izvedbe.

7. LITERATURA

1. Arazi, H. i Asadi, A. (2011). The effect of aquatic and land plyometric training on strength, sprint, and balance in young basketball players. *Journal of Human Sport & Exercise*, 6(1), 101-111.
2. Arazi, H., Coetzee, B. i Asadi, A. (2012). Comparative effect of land and aquatic based plyometric training on the jumping ability and agility of young basketball players. *South African Journal of Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 34(2), 1-14.
3. Armstrong, N. i McManus, A. M. (2011). „Physiology of elite young male athletes“ u *The Elite Young Athlete*, ur. Armstrong N. i McManus A. M. (Basel: Karger), 1-22.
4. Baković, M. (2016). *Biomehaničko vrednovanje skokova: uloga lateralnosti, zamaha rukama, režima rada mišića i smjera kretanja* (doktorski rad), Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
5. Balyi, I. i Hamilton, A. (2004). *Long-Term Athlete Development: Trainability in Childhood and Adolescence. Windows of Opportunity. Optimal Trainability*. Victoria: National Coaching Institute British Columbia & Advanced Training and Performance Ltd.
6. Balyi, I. i Way, R. (2005). *The role of monitoring growth in the long term athlete development*. Canadian sport for life.
7. Bass, S. L. (2000). The prepubertal years: a unique opportune stage of growth when the skeleton is most responsive to exercise? *Sports Medicine*, 30(2), 73-78.
8. Baxter-Jones, A. D. G., Eisenmann, J. C. i Sherar, L. B. (2005). Controlling for Maturation in Pediatric Exercise Science. *Pediatric Exercise science*, 17(1), 18-30.
9. Bedoya, A. A., Miltenberger, M. R. i Lopez, R. M. (2015). Plyometric Training Effects on Athletic Performance in Youth Soccer Athletes: A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(8), 2351-2360.
10. Behm, D. G., Faigenabum, A. D., Falk, B. i Klentrou, P. (2008). Canadian Society for Exercise Physiology Position Paper: Resistance Training in Children and Adolescents. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(3), 547-561.
11. Behm, D. G., Young, Y. D., Whitten, J. H. D., Reid, J. C., Quigley, P. J., Low, J., Li, Y., Lima, C. D., Hodgson, D. D., Chaouachi, A., Prieske, O. i Granacher, U. (2017).

- Effectiveness of traditional strength versus power training on muscle strength, power and speed with youth: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 8, 423.
12. Behringer, M., Vom Heede, A., Matthews, M. i Mester, J. (2011). Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 23(2), 186-206.
 13. Behringer, M., Vom Heede, A., Yue, Z. i Mester, J. (2010). Effects of resistance training in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatrics*, 126(5), 1199-1210.
 14. Bell, W. (1993). Body size and shape: a longitudinal investigation of active and sedentary boys during adolescence. *Journal of Sports Sciences*, 11(2), 127-138.
 15. Benson, A. C., Torode, M. E. i Fiatarone Singh, M. A. (2008). The effect of high-intensity progressive resistance training on adiposity in children: a randomized controlled trial. *International Journal of Obesity*, 32(6), 1016-1027.
 16. Bergeron M. F., Mountjoy, M., Armstrong, N., i sur. (2015). International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 843–851.
 17. Berne, R. M. i Levy, M. N. (ur.). (1993). *Fiziologija*. Zagreb: Medicinska naklada
 18. Beunen, G. P. i Malina, R. M. (1988). Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exercise and Sport Sciences Review*, 16(1), 503-540.
 19. Biewener, A. A. (2003). Muscles and skeletons: The building blocks of animal movement. *Animal Locomotion* (str. 15-45). Oxford Animal Biology Series. New York, NY: Oxford University Press
 20. Bobbert, M. F. i Casius L. J. R. (2005). Is the Effect of a Countermovement on Jump Height due to Active State Development? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(3), 440–446.
 21. Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G., Litjens, M. C. i Van Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(11), 1402–1412.
 22. Bojsen-Moller J., Magnusson, S. P., Rasmussen, L. R., Kjaer, M. i Aagaard, P. (2005). Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of tendinous structures. *Journal of Applied Physiology*, 99(3), 986–994.
 23. Borg, G. (1997). Borg's Perceived and Pain Scales, Human Kinetics-Champagne III, SAD.

24. Borms J. (1986). The child and exercise: An overview. *Journal of Sports Sciences*, 4(1), 3-20.
25. Bosco, C., Montanari, G., Ribacchi, R., Giovenali, P., Latteri, F., Iachelli, G., Faina, M., Colli, R., Dal Monte, A., Las Rosa, M., Cortelli, G. i Saibene, F. (1987). Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(2), 138-143.
26. Bosco, C., Viitasalo, J. T., Komi, P. V. i Luhtanen, P. (1982). Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114(4), 557-565.
27. Branta, C., Haubenstricker, J. i Seefeldt, V. (1984). Age changes in motor skills during childhood and adolescence. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 12(1), 467-520.
28. Cameron, N. (2002). Assessment of maturation. U N. Cameron (ur.), *Human Growth and Development* (str. 363-382). San Diego: Academic Press
29. Chaouachi, A., Haddad, M., Castagna, C., Wong, del P., Kaouech, F., Chamari, K. i Behm, D. G. (2011). Potentiation and Recovery Following Low- and High-Speed Isokinetic Contraction in Boys. *Pediatric Exercise Science*, 23(1), 136-150.
30. Chaouachi, A., Hammami, R., Kaabi, S., Chamari, K., Drinkwater, E. J. i Behm D. G. (2014). Olympic weightlifting and plyometric training with children provides similar or greater performance improvements than traditional resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), 1483-1496.
31. Chmielewski, T. L., Myer, G. D., Kauffman, D. i Tillman, S. M. (2006). Plyometric exercise in the rehabilitation of athletes: physiological responses and clinical application. *The Journal of Orthopaedics and Sports Physical Therapy*, 36(5), 308-319.
32. Chu, D. A. (1984). Plyometric exercise. *National Strength Coaches Association Journal*, 6(5), 56-62.
33. Chu, D. A., i Myer, G. D. (2013). Plyometrics. Champaign: Human Kinetics
34. Cohen, D. D., Voss, C., Taylor, M. J., Delextrat, A., Ogunleye, A. A. i Sandercock, G. R. (2011). Ten-year secular changes in muscular fitness in English children. *Acta Paediatrica*, 100(10), 175–177.
35. Cohen, J. (1977) Statistical power analyses for the behavioural sciences, rev. ed. New York: Academic Press

36. Cordasco, F. A., Wolfe, I. N., Wootten, M. E. i Bigliani, L. U. (1996). An electromyographic analysis of the shoulder during a medicine ball rehabilitation program. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(3), 386-392.
37. Cox, A., Fairclough, S. J., Kosteli, M-C. i Noonan R. J. (2020). Efficacy of School-Based Interventions for Improving Muscular Fitness Outcomes in Adolescent Boys: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(3), 543-560.
38. Dalleau, G., Belli, A., Viale, F., Lacour, J. R. i Bourdin, M. A. (2004). A simple method for field measurements of leg stiffness in hopping. *International Journal of Sports Medicine*, 25(3), 170-176.
39. Davies, G. J. i Matheson, J. W. (2001). Shoulder plyometrics. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 9(1), 1-18.
40. Department of Health, Physical Activity, Health Improvement and Protection. Start Active, Stay Active: a report on physical activity form the four home countries' Chief Medical Officers. London: Department of Health, 2011.
41. 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. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 41(3), 342-348.
42. Drenowatz, C. i Greier, K. (2018). Resistance Training in Youth – Benefits and Characteristics. *Journal of Biomedicine*, 3, 32-39.
43. Duehring, M. D., Feldmann, C. R. i Ebben, W. P. (2009). Strength and conditioning practices of United States high school strebght and conditioning coaches. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(8), 2188-2203.
44. Eckrich, J. i Strohmeier S. (2006). Motor Development. U K. M. Thies, J. F. Travers (ur.), *Handbook of human development for health care professionals*. Sudbury: Jones & Bartlett Learning
45. Faigenbaum, A. (2018). Youth Resistance Training: The Good, the Bad, and the Ugly-The Year That Was 2017. *Pediatric Exercise Science*, 30(1), 1-6.
46. Faigenbaum, A. D. i Chu, D. A. (2001). Plyometric Training for Children and Adolescents. Indianapolis: American College of Sports Medicine (ACSM) - Current Comment
47. Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M. i Rowland, T. W. (2009). Youth resistance training: updated position statement paper from

- the national strength and conditioning association. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5), 60-79.
48. Faigenbaum, A. i McFarland, Jr. J. E. (2007). Guidelines for Implementing a Dynamic Warm-up for Physical Education. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 78(3), 25-28.
 49. Fairclough, S. J., Ridgers, N. D. i Welk, G. (2012). Correlates of children's moderate and vigorous physical activity during weekdays and weekends. *Journal of Physical Activity & Health*, 9(1), 129-137.
 50. Falk, B. i Tenenbaum, G. (1996). The effectiveness of resistance training in children: a meta-analysis. *Sports Medicine*, 22(3), 176-186.
 51. Finni, T., Ikegaw, S., Lepola, V. i Komi, P. (2001). In vivo behaviour of vastus lateralis muscle during dynamic performances. *European Journal of Sport Science*, 1(1), 1-13.
 52. Flanagan, E. P. i Comyns, T. (2008). The use of Contact Time and Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(5), 32-38.
 53. Forbes, H., Bullers, A., Lovell, A., McNaughton, L. R., Polman, R. C. i Siegler, J. C. (2009). Relative torque profiles of elite male youth footballers: effects of age and pubertal development. *International Journal of Sports Medicine*, 30(8), 592-597.
 54. Froberg, K., Anderson, B. i Lammert O. (1991). Maximal oxygen uptake and respiratory functions during puberty in boy groups of different physical activity. U Frenkl, R. i Szmodis, I. (ur.), *Children and exercise: pediatric work physiology XV* (str. 65-80). Budapest: National Institute for Health Promotion
 55. Global recommendations on physical activity for health. (2010). Geneva: WHO.
 56. Granacher, U., Lesinski, M., Büsch, D., Muehlbauer, T., Prieske, O., Puta, C., Gollhofer, A. i Behm, D. G. (2016). Effects of Resistance Training in Youth Athletes on Muscular Fitness and Athletic Performance: A Conceptual Model for Long-Term Athlete Development. *Frontiers in Physiology*, 7, 164.
 57. Gray, J. J. i Ginsberg, R. L. (2007). Muscle dissatisfaction: an overview of psychological and cultural research and theory. Muscular ideal: psychological social, and medical perspectives. Washington, D. C.

58. Growth Charts – Data Table of Infant Length-for-age Charts. (2001). Growth Charts – Data Table of Infant Length-for-age Charts.
59. Growth Charts – Data Table of Stature-for-age Charts. (2001). Growth Charts – Data Table of Stature-for-age Charts.
60. Hammami, M., Negra, Y., Aouadi, R., Shephard, R. i Chelly, M. S. (2016). Effects of an In-season Plyometric Training Program on Repeated Change of Direction and Sprint Performance in the Junior Soccer Player. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(12), 3312-3320.
61. Hannaman, A. (2003). Adolescent Health Care: A Practical Guide, 4th Edition. Lippincott Williams & Wilkins: USA.
62. Health Behaviour in School-aged Children (HBSC) survey. (2014). Physical activity in adolescents.
63. Health Council of the Netherlands. (2017). Physical activity guidelines 2017. The Hague: Health Council of the Netherlands, 08.
64. Holcomb, W. R., Kleiner, D. M. i Chu, D. A. (1998). Plyometrics: Considerations for Safe and Effective Training. *Strength and Conditioning Journal*, 20(3), 36-39.
65. Jeffreys, I. (2007). Warm-up revisited: The ramp method of optimizing warm-ups. *Professional Strength and Conditioning*. (6) 12-18.
66. 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), 2623-2633.
67. Knuttgen, H. G. i Kraemer, W. J. (1987). Terminology and Measurement in Exercise Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 1(1), 1-10.
68. Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33(10), 1197-1206.
69. Komi, P. V. (2003). Stretch-Shortening Cycle. *Strength and Power in Sports*, 2nd edition (ur. Komi, P. V.), Blackwell Publishing, Oxford, UK.
70. Kotzamanidis, C. (2003). The effect of sprint training on running performance and vertical jump in pre-adolescent boys. *Journal of Human Movement Studies*, 44(3), 225-240.

71. 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.
72. Kriemler, S., Meyer, U., Martin, E., van Sluijs E. M. F., Andersen, L. B. i Martin, B. W. (2011). Effect of school-based interventions on physical activity and fitness in children and adolescents: a review of reviews and systematic update. *British Journal of Sports Medicine*, 45(11), 923-930.
73. Kubo, K., Kawakami, Y. i Fukunaga, T. (1999). Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 87(6), 2090-2096.
74. Laffaye, G., Choukou, M. A., Benguigui, N. i Padulo, J. (2016). Age- and gender- related development of stretch shortening cycle during a sub-maximal hopping task. *Biology of sport*, 33(1), 29-35.
75. Lesinski, M., Prieske, O. i Granacher, U. (2016). Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50(13), 781-795.
76. Lichtwark, G. A. i Wilson, A. M. (2007). Is Achilles tendon compliance optimised for maximum muscle efficiency during locomotion? *Journal of Biomechanics*, 40(8), 1768-1775.
77. Lloyd, R. S., Faigenbaum, A. D., Stone, M. H., Oliver, J. L., Jeffreys, I., Moody, J. A., Brewer, C., Pierce, K. C., McCambridge, T. M., Howard, R., Herrington, L., Hainline, B., Micheli, L. J., Jaques, R., Kraemer, W. J., McBride, M. G., Best, T. M., Chu, D. A., Alvar, B. A. i Myer, G. D. (2014). Position statement on youth resistance training: The 2014 international consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), 498-505.
78. Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Howard, D., De Ste Croix, M., Williams, A., Best, T. M., Alvar, B. A., Micheli, L. J., Thomas, D. P., Hatfield, D. L., Cronin, J. B. i Myer, G. D. (2015). Long-Term athletic development- part 1: a pathway for all youngs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1439-1450.
79. Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G. i Williams, C. A. (2009). Reliability and validity of field-based measures of leg stiffness and reactive strength index in youths. *Journal of Sports Sciences*, 27(14), 1565-1573.

80. Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G. i Williams, C. A. (2011). The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 1889-1897.
81. Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G. i Williams, C. A. (2012). The effects of 4-weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2812–2819.
82. Lloyd, R. S., Radnor, J. M., De Ste Croix, M. B. A., Cronin, J. B. i Oliver, J. L. (2016). Changes in sprint and jump performance following traditional, plyometric and combined resistance training in male youth pre- and post-peak height velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(5), 1239-1247.
83. Lloyd, R.S. i Oliver, J. L. (2012). The Youth Physical Development Model: A New Approach to Long-Term Athletic Development. *Strength and Conditioning Journal*, 34(3), 61-72.
84. Love, R., Adams, J. i Van Sluijs, E. M. F. (2019). Are school-based physical activity interventions effective and equitable? A meta-analysis of cluster randomized controlled trials with accelerometer-assessed activity. *Obesity reviews: an official journal of the International Association for the Study of Obesity*. 20(6), 859-870.
85. Lubans, D. R. i Cliff, D. P. (2011). Muscular fitness, body composition and physical self-perception in adolescents. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 14(3), 216-221.
86. Mackelvie, K. J., McKay, H. A., Khan, K. M. i Crocker, P. R. (2001). A school-based exercise intervention augments bone mineral accrual in early pubertal girls. *Journal of pediatrics*. 139(4), 501-508.
87. Malina, R. M. (2011). Skeletal age and age verification in youth sport. *Sports Medicine*, 41(11), 925-947.
88. Malina, R. M., Bouchard, C. i Bar-Or, O. (2004). Growth, Maturation and Physical Activity. (2nd edition). Champaign, IL, USA: Human Kinetics.
89. Malina, R. M., Cumming, S. P., Morano, P. J., Barron, M. i Miller, S. J. (2005). Maturity status of youth football players: a noninvasive estimate. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 1044-1052.

90. Malina, R., Bouchard, C. i Bar-Or, O. (1996). *Growth, maturation, and physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
91. Markovic, G. i Mikulic, P. (2010). Neuro-muskuloskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Medicine*, 40(10), 859-895.
92. McArdle, W. D., Katch, F. I. i Katch, L. K., (2010). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance*, 7th London: Lippincott Williams & Wilkins.
93. McBride, J. M., McCaulley, G. O. i Cormie P. (2008). Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 750-757.
94. McVarish, D. (1962). Tables for Computing Decimal Fractions of a Year. *Child Development*, 33(2), 477-480.
95. 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.
96. Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A. i Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 689-694.
97. Moliner-Urdiales, D., Ruiz, J. R., Ortega, F. B., Jiménez-Pavón, D., Vicente-Rodriguez, G., Rey-López, J. P., Martínez-Gómez, D., Casajús, J. A., Mesana, M. I., Marcos, A., Noriega-Borge, M. J., Sjöström, M., Castillo, M. J., Moreno, L. A. i AVENA and HELENA Study Groups. (2010). Secular trends in health-related physical fitness in Spanish adolescents: the AVENA and HELENA studies. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(6), 584-588.
98. Moran, J. J., Sandercock, G. R. H., Ramírez-Campillo, R., Meylan, C. M. P., Collison, J. A. i Parry, D. A. (2017). Age-related variation in male youth athletes' countermovement jump after plyometric training: a meta-analysis of controlled trials. *Journal of Strength and Conditioning Research* 31(2), 552-565.
99. Myer, G. D., Kushner, A. M., Faigenbaum, A. D., Kiefer, A., Kashikar- Zuck, S. i Clark, J. F. (2013). Training the developing brain, part I: Cognitive developmental considerations for training youth. *Current Sports Medicine Reports*, 12(5), 304-310.

100. Naylor, L. H., Watts, K., Sharpe, J. A., Jones, T. W., Davis, E. A., Thompson, A., George, K., Ramsay, J. M., O'Driscoll, G. i Green, D. J. (2008). Resistance training and diastolic myocardial tissue velocities in obese children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(12), 2027-2032.
101. Neinstein, L. S. i Kaufman, F. R. (2002). chapter 1: Normal Physical Growth and Development from Neinstein L.S. *Adolescent Health Care: A Practical Guide*, 4th edition, Lippincott Williams and Wilkins.
102. Payne, V. G., Morrow, J. R. Jr., Johnson, L. i Dalton, S. N. (1997). Resistance training in children and youth: a meta-analysis. *Research quarterly for exercise and sport*, 68(1), 80-88.
103. Peitz, M., Behringer, M. i Granacher, U. (2018). A systematic review on the effects of resistance and plyometric training on physical fitness in youth-What do comparative studies tell us? *PloS One*, 13(10), 1-44.
104. Perez-Gomez, J. i Calbet, J. A. (2013). Training methods to improve vertical jump performance. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 53(4), 339-357.
105. Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G. i Malina, R. M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sport Sciences*, 24(3), 221-230.
106. Physical Activity Guidelines for Americans, 2nd edition. Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services; 2018.
107. Pichardo, A. W., Oliver, J. L., Harrison, C. B., Maulder, P. S. i Lloyd, R. S. (2019). Integrating Resistance Training Into High School Curriculum. *Strength & Conditioning Journal*, 41(1), 39-50.
108. Plisk, S. S. (1991). Anaerobic metabolic conditioning: A brief review of theory, strategy and practical application. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 5(1), 22-34.
109. Poitras, V. J., Gray., C. E., Borghese, M. M., Carson, V., Chaput, J-P., Jansen, I., Katzmarzyk, P. T., Russel, R. P., Connor Gorber, S., Kho, M. E., Sampson, M. i Tremblay, M. S. (2016). Systematic review of the relationships between objectively measured physical activity and health indicators in schoolaged children and youth. *Applied Physiology, Nutrition and, Metabolism*, 41(6), 197-239.

110. Prediction of Age of Peak Height Velocity – University of Saskatchewan. 2015.
111. Quatman-Yates, C., Quatman, C. E., Meszaros, A. J., Paterno, M. V., i Hewett, T. E. (2012). A systematic review of sensorimotor function during adolescence: A developmental stage of increased motor awkwardness? *British Journal of Sports Medicine*, 46(9), 649-655.
112. Radnor, J. M., Lloyd, R. S. i Oliver, J. L. (2017). Individual response to different forms of resistance training in school-aged boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 781-797.
113. Ramirez-Campillo, R., Burgos, C. H., Henriquez-Olguin, C., Andrade, D. C., Martinez, C., Alvarez, C., Castro-Sepulveda, M., Marques, M. C. i Izquierdo, M. (2015 a). Effect of Unilateral, Bilateral, and Combined Plyometric Training on Explosive and Endurance Performance of Young Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1317-1328.
114. Ramirez-Campillo, R., Gallardo, F., Henriquez-Olguin, C., Meylan, C. M., Martinez, C., Alvarez, C., Caniuqueo, A., Cadore, E. L. i Izquierdo, M. (2015 b). Effect of Vertical, Horizontal, Combined Plyometric Training on Explosive, Balance, and Endurance Performance of Young Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1784-1795.
115. Ramirez-Campillo, R., Henriquez-Olguin, C., Burgos, C. H., Andrade, D. C., Zapata, D., Martinez, C., Alvarez, C., Baez, E. I., Castro-Sepulveda, M., Penailillo, L. i Izquierdo, M. (2015 c). Effect of Progressive Volume-Based Overload During Plyometric Training on Explosive and Endurance Performance in Young Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1884-1893.
116. Rasmussen, A. R., Wohlfahrt-Veje, C., Tefre de Renzy-Martin K., Casper, P., Hagen, C. P., Tinggaard, J., Mouritsen, A., Mikkelsen, G., Mieritz, M. G. i Main, K. M. (2015). Validity of Self-Assessment of Pubertal Maturation. *Pediatrics*, 135(1), 86-93.
117. Rogol, A. D., Clark, P. A. i Roemmich, J. N. (2000). Growth and pubertal development in children and adolescents: effects of diet and physical activity. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(2), 521-528.
118. Round, J. M., Jones, D. A., Honour, J. W. i Nevill, A. M. (1999). Hormonal factors in the development of differences in strength between boys and girls during adolescence: a longitudinal study. *Annals of Human Biology*, 26(1):49-62.

119. Rumpf, M. C., Cronin, J., Pinder, S., Oliver, J. i Hughes, M. G. (2012). Effect of Different Training Methods on Running Sprint Times in Male Youth. *Pediatric Exercise Science*, 24(2), 170-186.
120. Runhaar, J., Collard, D. C. M., Kemper, H. C. G., Singh, A. S., Kemper, H. C. G., van Mechelen, W. i Shinapaw, M. (2010). Motor fitness in Dutch youth: Differences over a 26-year period (1980–2006). *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(3), 323-328.
121. Sandercock G. R. H. i Cohen, D. D. (2018). Temporal trends in muscular fitness of English 10-year-olds 1998-2014: an allometric approach. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(2), 201-205.
122. Schmidtbleicher, D. (1992). Training for power events. U Komi, P. V. (ur.), *Strength and Power in Sport* (str. 381-395). Oxford, Engleska: Blackwell Scientific Publications.
123. Schwingshandl, J., Sudi, K., Eibl, B., Wallner, S. i Borkenstein, M. (1999). Effect of individualised training programme during weight reduction on body composition: a randomised trial. *Archives of Disease in Childhood*, 81(5), 426-428.
124. Shaibi, G. Q., Cruz, M. L., Ball, G. D. C., Weigensberg, M. J., Salem, G. J., Crespo, N. C. i Goran, M. I. (2006). Effects of Resistance Training on Insulin Sensitivity in Overweight Latino Adolescent Males. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(7), 1208-1215.
125. Siti, M. I., Saat, M. I., Krasilshchikov, O., Shaw, I. i Shaw, B. S. (2014). Enhancing jump ground reaction forces in children through jump training. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education*, 36(1), 199-209.
126. Smith, J. J., Eather, N., Morgan, P. J., Plotnikoff, R. C., Faigenbaum, A. D. i Lubans, D. R. (2014). The Health Benefits of Muscular Fitness for Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 44(9), 1209-1223.
127. Sohnlein, Q., Muller, E. i Stoggl, T. L. (2014). The Effect of 16-week Plyometric Training on Explosive Actions in Early to Mid-Puberty Elite Soccer Players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(8), 2105-2114.
128. Sowell, E. R., Thompson, P. M., Leonard, C. M., Welcome, S. E., Kan, E. i Toga, A. W. (2004). Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children. *Journal of Neuroscience*, 24(38), 8223–8231.

129. Sowell, E. R., Trauner, D. A., Gamst, A. i Jernigan, T. L. (2002). Development of cortical and subcortical brain structures in childhood and adolescence: A structural MRI study. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 44(1), 4-16.
130. Sprynarová, S. (1987). The influence of training on physical and functional growth before, during and after puberty. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 719-724.
131. Stiff, M. (2004). Supertraining. 6. izdanje. Denver: Super training Institute.
132. Stratton, G., Jones, M., Fox, K. R., Tolfrey, K., Harris, J., Maffulli, N., Lee, M. i Frostick, S. P. (2004). BASES Position Statement on Guidelines for Resistance Exercise in Young People. *Journal of Sport Sciences*, 22(4), 383-390.
133. Tanner, J. M. (1962). *Growth at adolescence*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
134. Tanner, J. M. (1981). *A History of the Study of Human Growth*. Cambridge: Cambridge University Press.
135. Tanner, J. M. (1989). *Foetus In to Man*. London: Castlemead.
136. Tanner, J. M., Whitehouse, R. H. i Takaishi, M. (1966). Standards from birth to maturity for height, weight, height velocity, and weight velocity: British children, 1965. II. *Archives of Disease in Childhood*, 41(220), 613-635.
137. Terada, S., Miaki, H., Uchiyama, K., Hayakawa, S. i Yamazaki T. (2013). Effects of isokinetic passive exercise and isometric muscle contraction on passive stiffness. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(10), 1347-1352.
138. Thomas, K., French, D. i Hayes, P. R. (2009). The effect of two plyometric training techniques on muscular power and agility in youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 332-335.
139. Tomkinson, G. R., Leger, L. A., Olds, T. S. i Cazorla, G. (2003). Secular trends in the performance of children and adolescents (1980-2000): an analysis of 55 studies of the 20m shuttle run test in 11 countries. *Sports Medicine*, 33(4), 285-300.
140. Tremblay, M. S., Shields, M., Laviolette, M., Craig, C. L., Janssen, I. i Gorber, S. C. (2010). Fitness of Canadian children and youth: results from the 2007-2009 Canadian Health Measures Survey. *Health Reports*, 21(1), 7-20.
141. Turner, A. N. i Jeffreys, I. (2010). The Stretch-Shortening Cycle: Proposed Mechanisms and Methods for Enhancement. *Strength and conditioning journal*, 32(4), 60-67.

142. Valovich-McLeod, T. C., Decoster, L. C., Loud, K. J., Micheli, L. J., Parker, J. T., Sandrey, M. A. i White, C. (2011). National Athletic Trainers' Association position statement: prevention of pediatric overuse injuries. *Journal of Athletic Training*, 46(2), 206-220.
143. Viru, A., Loko, J., Harro, M., Volver, A., Laaneaots, L. i Viru, M. (1999). Critical periods in the development of performance capacity during childhood and adolescence. *European Journal of Physical Education*, 4(1), 75-119.
144. Weeks, B. K. i Beck, B. R. (2012). Twice-weekly, in-school jumping improves lean mass, particularly in adolescent boys. *Pediatric Obesity*, 7(3), 196–204.
145. Weeks, B. K., Young, C. M. i Beck, B. R. (2008). Eight months of regular in-school jumping improves indices of bone strenght in adolescent boys and girls: the POWER PE study. *Journal of bone and mineral research*. 23(7), 1002-1011.
146. Wertheimer, V. (2015). *Utjecaj skakačkog treninga na tlu i u vodi na motoričke sposobnosti* (doktorski rad), Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
147. Wilk, K. E. i Arrigo, C. (1993). Current Concepts in the Rehabilitation of the Athletic Shoulder. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 18(1), 365-378.
148. Wilson, J. M. i Flanagan, E. P. (2008). The Role of Elastic Energy in Activities with High Force and Power Requirements: A Brief Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1705–1715.
149. Wood, L. E., Dixon, S., Grant, C. i Armstrong, N. (2006). Elbow flexor strength, muscle size, and moment arms in prepubertal boys and girls. *Pediatric Exercise Science*, 18(4), 457-469.
150. World Health Organization (2010). Global Recommendations on Physical Activity for Health. Geneva: WHO Press
151. Zribi, A., Zouch, M., Chaari, H., Bouajina, E., Ben Nasr, H., Zaouali, M. i Tabka, Z. (2014). Short-Term Lower-Body Plyometric Training Improves Whole Body BMC, Bone Metabolic Markers, and Physical Fitness in Early Pubertal Male Basketball Players. *Pediatric Exercise Science*, 26(1), 22-32.

8. ŽIVOTOPIS AUTORA

Tomislav Uzelac-Šćiran rođen je 3. studenoga 1975. godine u Zagrebu. Osnovnu školu završio je u Novalji, a XVIII. jezičnu gimnaziju u Zagrebu. Fakultet za fizičku kulturu u Zagrebu upisao je 1995. godine, te diplomirao 19. lipnja 2000. godine pod mentorstvom prof. dr. sc. Zdenka Jajčevića. Tijekom studija imenovani je kroz izborni program stekao i dopunsku stručnu kvalifikaciju za rad u Osnovnim kineziološkim transformacijama pod mentorstvom prof. dr. sc. Dušana Metikoša. Tijekom studija radio je kao kondicijski trener s mladim sportašima iz različitih sportova. Po završetku studija odlazi na odsluženje vojnoga roka na Hrvatsko vojno učilište Petar Zrinski u Zagrebu. Iste godine zapošljava se na radno mjesto odgajatelja i voditelja sportskih aktivnosti u Pazinskom kolegiju - klasičnoj gimnaziji u Pazinu, gdje 2002. godine polaže stručni ispit. Godine 2012. zapošljava se u Osnovnoj školi Bakar u Bakru na radno mjesto učitelja. U istoj je Školi 2019. godine izabran za ravnatelja, a tu funkciju obnaša do današnjeg dana.

9. OBJAVLJENI ZNANSTVENI RADOVI AUTORA

1. Uzelac-Šćiran, T., Šarabon, N. i Mikulić, P. (2020). Effects of 8-week Jump Training Program on Sprint and Jump Performance and Leg Strength in Pre- and Post-Peak Height Velocity Aged Boys. *Journal of Sports Science and Medicine*, 19, 547-555.
2. Uzelac-Šćiran, T. i Vučetić, V. (2017). Evaluation of anaerobic threshold in elite handball players on different playing positions using rating of perceived exertion. U Zvonar, M. & Sajdlova, Z. (ur.), *Proceedings of the 11th International Conference on Kinanthropology* (str. 955-964). Brno, Češka.
3. Uzelac-Šćiran, T. (2017). Indicators of situational efficiency of PPD Zagreb and MVM Veszprem handball players in regular 2015. / 2016. SEHA league season. U Milanović, D., Sporiš, G., Šalaj, S. & Škegro, D. (ur.), *Proceeding book of 8th International Scientific Conference on Kinesiology* (str. 423-427). Opatija, Hrvatska.
4. Ljubičić, S., Uzelac-Šćiran, T. i Dukarić, V. (2017). Razlike u morfološkim karakteristikama atletičara-skakača na Olimpijskim igrama od 2000.-2012. U Findak, V. (ur.), *Zbornik radova 26. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske na temu: Kineziološke kompetencije u područjima edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije*. (str. 157-162). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez.
5. Zekić, R., Uzelac-Šćiran, T. i Ljubičić, S. (2017). Utjecaj motoričkih sposobnosti na razvoj aerobnih potencijala kod djevojčica predškolskog uzrasta. U Findak, V. (ur.), *Zbornik radova 26. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske na temu: Kineziološke kompetencije u područjima edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije*. (str. 194-200). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez.
6. Uzelac-Šćiran, T. i Ljubičić, S. (2016). Praćenje razvoja antropoloških obilježja učenika i učenika kroz srednje školsko doba. U Findak, V. (ur.), *Zbornik radova 25. ljetne škole kineziologa na temu: Kineziologija i područja edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije u razvitku hrvatskog društva*. (str. 112-117). Zagreb, Hrvatska: Hrvatski kineziološki savez.